

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

MARCOS JOSÉ DE OLIVEIRA

**Mudanças climáticas e ciclos naturais do clima:  
Passado, presente e futuro da temperatura no Brasil**

São Carlos, SP  
2021



MARCOS JOSÉ DE OLIVEIRA

**Mudanças climáticas e ciclos naturais do clima:  
Passado, presente e futuro da temperatura no Brasil**

Versão Corrigida

Tese apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção de Título de Doutor em Ciências – Programa de Ciências da Engenharia Ambiental.

Área de Concentração: Climatologia Aplicada

Orientador: Prof. Dr. Francisco A. S. Vecchia

São Carlos, SP

2021

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO,  
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS  
DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Prof. Dr. Sérgio Rodrigues Fontes da  
EESC/USP com os dados inseridos pelo(a) autor(a).

048m Oliveira, Marcos José de  
Mudanças climáticas e ciclos naturais do clima:  
passado, presente e futuro da temperatura no Brasil /  
Marcos José de Oliveira; orientador Francisco Arthur  
Silva Vecchia. São Carlos, 2021. 640p.

Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação e  
Área de Concentração em Ciências da Engenharia  
Ambiental -- Escola de Engenharia de São Carlos da  
Universidade de São Paulo, 2021.  
Versão corrigida.

1. aquecimento global. 2. climatologia. 3. IPCC. 4.  
análise espectral. 5. modelo climático. 6. modelagem.  
7. projeção. I. Título.

## FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato: Engenheiro **MARCOS JOSÉ DE OLIVEIRA.**

Título da tese: "Mudanças climáticas e ciclos naturais do clima: passado, presente e futuro da temperatura no Brasil".

Data da defesa: 14/07/2021.

### Comissão Julgadora

### Resultado

Prof. Associado **Francisco Arthur da Silva Vecchia**  
(Orientador)  
(Escola de Engenharia de São Carlos/EESC-USP)

Aprovado

Prof. Dr. **Luiz Carlos Baldicero Molion**  
(Universidade Federal de Alagoas/UFAL)

Aprovado

Profa. Dra. **Ercília Torres Steinke**  
(Universidade de Brasília/UnB)

Aprovado

Profa. Dra. **Daniela de Souza Onça**  
(Universidade do Estado de Santa Catarina)

Aprovado

Prof. Dr. **Elis Dener Lima Alves**  
(Instituto Federal Goiano/IF)

Aprovado

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental:

Prof. Associado **Frederico Fabio Mauad**

Presidente da Comissão de Pós-Graduação:

Prof. Titular **Murilo Araujo Romero**





Gravura<sup>1</sup> no livro “L’atmosphère: météorologie populaire” (1888), de Camille Flammarion [1842–1925], astrônomo francês. A legenda original diz:

*“Um missionário medieval diz que encontrou o ponto onde o céu e a terra se encontram...”*

---

<sup>1</sup> Versão modificada a partir da imagem original, a qual consta no final desta obra (p. 626). Fonte: FLAMMARION-3 (2021).

## INSPIRAÇÃO: A MATEMÁTICA E A NATUREZA

Fórmula recursiva geradora da **seqüência de Fibonacci**<sup>2</sup>, onde cada termo subsequente corresponde à soma dos dois anteriores:

$$F_n = F_{n-1} + F_{n-2}, \dots$$

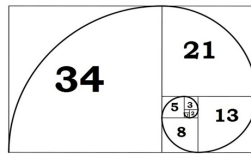
onde os valores iniciais são:

$$F_0 = 0; F_1 = 1$$

**Seqüência de Fibonacci** cada número, após os dois primeiros, é a soma dos dois precedentes:

0, 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, 89, 144, 233, 377, 610, 987, 1597, 2584...

**Espiral de Fibonacci** é criada pelo desenho de arcos circulares que conectam os cantos opostos dos quadrados no mosaico de Fibonacci:

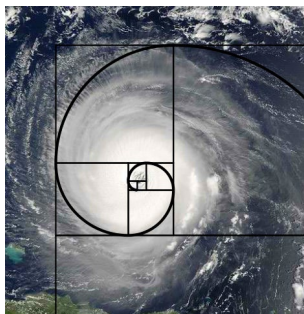


A relação entre os números consecutivos da seqüência de Fibonacci representa, no limite, a **proporção áurea** ou **número de ouro**<sup>3</sup> ( $\varphi = 1,618\dots$ ):

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{F_{n+1}}{F_n} = \varphi = 1,6180339887 \dots$$

Algumas das maiores mentes matemáticas de todas as épocas [Pitágoras, Euclides na Grécia antiga, o astrônomo renascentista Johannes Kepler, entre outros] passaram horas intermináveis sobre esta razão simples e suas propriedades (...). Biólogos, artistas, músicos, historiadores, arquitetos, psicólogos e até místicos ponderaram e debateram a base de sua onipresença e apelo. Na verdade, é provavelmente justo dizer que a Proporção Áurea inspirou pensadores de todas as disciplinas como nenhum outro número na história da matemática (LIVIO, p. 6).

Alguns artistas e arquitetos do século 20 dimensionaram suas obras para se aproximar da proporção áurea, acreditando ser esteticamente agradável. A **proporção áurea** aparece em alguns padrões na natureza, incluindo o arranjo espiral de folhas/flores e conchas. Os braços dos **vórtices ciclônicos**, como nos furacões (ciclones tropicais, imagem abaixo), formam espirais logarítmicas. Os **braços das galáxias espirais** são também aproximadamente espirais logarítmicas. Em alguns casos, como mostrado na imagem a seguir, as espirais se aproximam da “espiral de Fibonacci”:



Furacão Isabel<sup>4</sup>  
(2003)



Galáxia do Redemoinho  
(M51)<sup>5</sup>

Com suas raízes em princípios matemáticos, as **espirais**<sup>6</sup>, os **vórtices**<sup>7</sup> e os **ciclones**<sup>8</sup> remetem ao tema central desta Tese: **ciclos<sup>9</sup> climáticos**.

<sup>2</sup> Leonardo Fibonacci (1170 – 1250) foi um matemático italiano da República de Pisa, considerado “o matemático ocidental mais talentoso da Idade Média”. Os números de Fibonacci aparecem inesperadamente com frequência na matemática, tanto que existe um periódico inteiro dedicado ao seu estudo, a *Fibonacci Quarterly*.

<sup>3</sup> A proporção áurea também gera uma espiral logarítmica, a *espiral dourada*, cuja representação pode ser aproximada pela espiral de Fibonacci.

<sup>4</sup> Furacão Isabel, de 14 set. 2003 (Fonte da imagem: HURRICANE ISABEL, 2020). Nem todos os furacões seguem exatamente a proporção de uma “espiral de Fibonacci” ou de uma “espiral dourada”, mas todos possuem, geralmente, uma aparência das espirais logarítmicas.

<sup>5</sup> Galáxia do Redemoinho, também denominada Messier 51a, M51 ou NGC 5194 (Fonte da imagem: GALÁXIA DO RODAMONHO, 2020). Nem toda galáxia possui formato espiral, pois existem galáxias elípticas, lenticulares, irregulares, circulares (em anel), entre outros tipos. Das galáxias espirais, nem todas seguem o padrão da “espiral de Fibonacci” ou da “espiral dourada”.

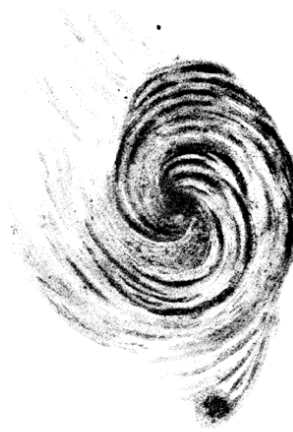
<sup>6</sup> **Espiral**: do latim *spīrālis* (spiralis), “serpentina, caracol, bobina”, “o que se curva, que se torce”; do grego *speira*, “algo enrolado, torcido, volteado”, “guirlanda, dobra”, “aquilo que dá voltas” (SPIRAL, 2020). Segundo Bourbaki (1995), a espiral é uma das formas mais misteriosas de todas.

<sup>7</sup> **Vórtice**: do latim *vortex*, variante de *vertex*, “redemoinho, turbilhão, movimento giratório”, de *vertere*, “virar, fazer voltar”. Vórtices podem ser vistos como tipos de espirais tridimensionais (VORTEX, 2020).

<sup>8</sup> **Ciclone**: termo introduzido em 1848 por Henry Piddington (1797-1858), capitão da Marinha Britânica, baseado no termo grego *kyklōn* (presente particípio da palavra grega *kykloûn*, “gira”, derivação verbal de *kyklos*), “movendo em círculo, girando”. Aparentemente confundido por Piddington com *kyklōma*, do grego, “roda, espiral” (CYCLONE, 2020).

<sup>9</sup> **Ciclos**: do latim, *cyclos* (plural de *cycli*); equivale ao grego *kyklos*, que significa “círculo, roda, forma redonda, coisa disposta em círculo, uma rotação completa, uma série repetível” (CICLO, 2020; CYLUS, 2020; KYKLOS, 2020).





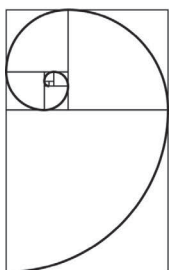
Esboço<sup>10</sup> da galáxia M51 realizado por William Parsons (Lord Rosse), em 1845, após descobrir que o objeto celeste possuía uma estrutura espiral. Posteriormente, a galáxia M51 ficou conhecida como “Galáxia do Redemoinho”.

*Ao estudar Mudança Climática,  
A curiosidade, quem diria,  
Para além dessa temática,  
Da Terra ao céu, extrapolaria.*

*Da téttrade pitagórica, Matemática;  
Dos ciclos dos orbes, Astronomia;  
Das cordas vibrantes, Música Clássica;  
Dos ciclos climáticos, celestial Sincronia.*

*De todos, uma coincidência magnífica  
E encantadora verdade: pura Harmonia!*

MJO, 2021



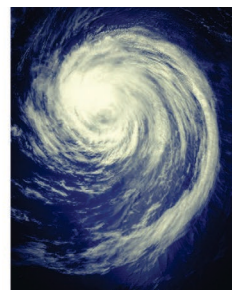
Espiral de Fibonacci



Clave de Fá



Concha



Furacão Irene (2005)



Galáxia do Redemoinho (M51)

---

<sup>10</sup> Fonte: adaptado de M51SKETCH (2021).



## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela magnífica perfeição da vida, cuja resplandecência, aflorada de inefáveis e harmoniosas leis naturais, providencia a energia impulsionadora do fascínio e da curiosidade, instigando a incessante e entusiasmante busca do conhecimento e da verdade.

Que a sintética simplicidade das palavras permita expressar, de modo inversamente proporcional, a imensidão de minha gratidão pelas contribuições dos queridos amigos, familiares, parceiros, apoiadores, contribuidores, torcedores, incentivadores, enfim, verdadeiros companheiros que direcionaram energias para conclusão da Tese. Assim, agradeço:

Ao Prof. Dr. Francisco Vecchia, pela orientação fundamental, que começou em 2003 quando me ofereceu a oportunidade de realizar iniciação científica; que, em 2010, me inspirou a continuar no mestrado para aprofundar no tema; e que agora, em 2021, é a pessoa responsável por favorecer a consagração do doutoramento. Registro minha sincera e imensa gratidão, além do seu papel de pesquisador como fonte brilhante de conhecimentos e experiências de vida, pela autêntica, firme e agradável amizade.

Ao Prof. Dr. Gustavo Baptista (UnB), por além de ter me aceito como doutorando na UnB, também ter me oferecido a oportunidade de ministrar uma aula marcante, cuja epifania despertou em mim a vontade de ensinar, ser Professor.

Ao Prof. Dr. Celso Carneiro (UNICAMP), por ter ensinado que uma das mais nobres razões de aprender é ensinar e repassar o conhecimento adiante. Toda abordagem didática nesta Tese é influência direta de seus ensinamentos.

À Profa. Dra. Caren Lorensi, por conceder o arquivo executável original e o correspondente código fonte do *ARIST*, programa de análise espectral.

Aos colegas da Empresa Júnior de Estatística (EJE) da UFSCar – Daniel, Felipe, Juliana, Laís, Michelangelo e Raul – pelo excelente trabalho e dedicação na elaboração dos códigos de programação em *R*, os quais foram fundamentais para a condução das análises espectrais.

Ao Cientista da Computação Nelson A. de Oliveira, meu irmão que sempre esteve à disposição para ajudar em inúmeras dúvidas, apresentando agilmente soluções de problemas complexos envolvendo programação em geral.

Aos colegas do Núcleo de Climatologia, Diego Narciso e Gustavo Zen, pela ajuda essencial na condução das análises e discussões, bem como pela amizade e incentivo.

Aos amigos e colaboradores nas discussões na *Internet* sobre o clima e aquecimento global, em especial o grupo *Fakeclimate*.

À EESC, por todas condições oferecidas para minha formação na graduação em Engenharia Ambiental e para a obtenção do mestrado e do doutorado do PPG-SEA.

A todos os docentes da graduação e pós-graduação que se dedicaram aos cursos e contribuíram com o meu crescimento intelectual e científico.

Ao Nelson, José Luiz e demais funcionários do PPG-SEA, sempre de prontidão para auxiliar nas questões administrativas ao longo da pesquisa, pela compreensão sobre os percalços e complacência em ajudar.

À USP São Carlos e todos os seus funcionários, que contribuíram com a infraestrutura e apoio necessário, em especial os serviços oferecidos nas bibliotecas.

Aos colegas do IBAMA, por todo apoio e compreensão: Alexandre, Bruna, Cícera, Cláudio, Diego, Edson, Erli, Fernanda Taís, Fernanda Wick, Helder, José Ricardo, Juliana, Karina, Maurício, Rafaela, Renê, Rosilaine, Sílvia e, em especial, aos chefes Luis Antônio, Eloi Venturini, Wilson Fermino, Davi Silva, Fernando Scavassin e Carla Casara.

Aos amigos, pela presença tranquilizadora: Ariela, Érik, Fernando, Francisco, Juliana, Marcelo, Mariana, Michelle, Oigres, Pedro, Pétala, Raphael, Rodrigo, Simon e Thaís.

A todos os amigos e pessoas que contribuíram de alguma forma para a instigação e realização deste trabalho.

Por fim, carinhosamente, agradeço:

Aos meus pais, Marcos e Nicélia, pelos princípios e valores transmitidos e pelo carinho sempre dedicado na minha vida.

Aos meus irmãos, Nelson e Antônio, pelos anos de convivência e experiências de vida compartilhadas.

Aos meus sogros Pedro e Ione, pela atenção e carinho.

A minha amada esposa Tatiana, por todo irrestrito incentivo, companheirismo, paciência e compressão.

## DEDICATÓRIA

“*O questionamento é a base de todo conhecimento*” – Sempre diz minha querida esposa.  
Ou nas palavras de antigos sábios e nobres filósofos:

*Dubitando ad veritatem parvenimus.*<sup>11</sup>

(Duvidando é que chegamos à verdade)

Cícero [106 –43 a.C.], filósofo romano

*O questionamento constante e frequente é a primeira chave para a sabedoria. Pois, por meio da dúvida, somos levados a inquirir e, pela investigação, percebemos a verdade.*<sup>12</sup>

Pedro Abelardo [1079–1142], filósofo francês.

O conjunto de todas as vozes dissonantes e antagônicas é que forma o verdadeiro espírito científico, crítico e indagador, capaz de promover a evolução do conhecimento da humanidade.  
Afinal:

*O poder de questionar é a base de todo o progresso humano.*<sup>13</sup>

Indira Gandhi [1917–1984], primeira mulher a ser primeira-ministra da Índia.

*O objetivo do argumento, ou da discussão, não deve ser a vitória, mas o progresso.*<sup>14</sup>

Joseph Joubert [1754–1824], moralista e ensaísta francês.

Entre a certeza e a dúvida, cabem as reflexões:

---

<sup>11</sup> DUBITANDO (2021).

<sup>12</sup> PEDRO (2021).

<sup>13</sup> INDIRA (2021).

<sup>14</sup> JOSEPH (2021).

*A dívida não é uma condição agradável, mas a certeza é absurda.*<sup>15</sup>

Voltaire (pseudônimo de François-Marie Arouet [1694–1778]), filósofo iluminista francês

*Confesso que prefiro o conhecimento verdadeiro, mas imperfeito, mesmo que seja muito indeterminado e imprevisível, a uma pretensão de conhecimento exato que provavelmente será falso.*<sup>16</sup>

Friedrich August von Hayek [1899–1992], economista e filósofo austríaco

Assim, ao homem, cabe descobrir a verdade:

*A propriedade distintiva do homem é buscar e seguir a verdade.*<sup>17</sup>

Cícero [106–43 a.C.], filósofo romano

Como chegar à verdade? É simples. Por meio da Ciência:

*In Univerſa Scientia Veritas*  
(A Ciência como verdade Universal)

Divisa da Universidade Federal do Amazonas<sup>18</sup>

*Scientia Vincet*  
(Vencerás pela Ciência)

Divisa do Brasão da Universidade de São Paulo<sup>19</sup>

Diante do exposto, dedico a todos que duvidam, questionam e, por meio da Ciência, buscam a verdade, sempre!

---

<sup>15</sup> VOLTAIRE (2021).

<sup>16</sup> FRIEDRICH (2021).

<sup>17</sup> CICERO (2021).

<sup>18</sup> UFAM (2019).

<sup>19</sup> USP (2021).

## PROLEGÔMENOS

Ao longo do desenvolvimento da presente Tese de Doutorado, a consulta a inúmeras obras favoreceu o agradável e enriquecedor contato com ideias concebidas por mentes brilhantes de pesquisadores, cientistas e gênios que, em suas respectivas áreas de atuações nas Ciências, apresentaram textos com premissas e abordagens extraordinariamente interessantes e inspiradoras. Tendo em mente esse contexto, acredita-se este ser um espaço adequado para compartilhar alguns excertos que tiveram significativa influência norteadora na elaboração do trabalho.

### Discurso Preliminar<sup>20</sup>

Causas primárias são desconhecidas para nós; mas estão sujeitas a leis simples e constantes, que podem ser descobertas pela observação, sendo o estudo delas o objeto da filosofia natural.

O calor, como a gravidade, penetra em todas as substâncias do universo, seus raios ocupam todas as partes do espaço. O objetivo do nosso trabalho é estabelecer as leis matemáticas que este elemento obedece. A teoria do calor será doravante um dos ramos mais importantes da física geral. O conhecimento da mecânica racional, que as nações mais antigas foram capazes de adquirir, não chegou até nós, e a história dessa ciência, se excetuar os primeiros teoremas em harmonia, não está além das descobertas de Arquimedes. Este grande geômetra explicou os princípios matemáticos do equilíbrio de sólidos e fluidos. Cerca de dezoito séculos se passaram antes que Galileu, o criador das teorias dinâmicas, descobrisse as leis do movimento de corpos pesados. Dentro dessa nova ciência, Newton compreendeu todo o sistema do universo. Os sucessores desses filósofos estenderam essas teorias e deram-lhes uma admirável perfeição: ensinaram-nos que os mais diversos fenômenos estão sujeitos a um pequeno número de leis fundamentais que são reproduzidas em todos os atos da natureza. É reconhecido que os mesmos princípios regulam todos os movimentos das estrelas, sua forma, as desigualdades de seus cursos, o equilíbrio e as oscilações dos mares, as vibrações harmônicas do ar e dos corpos sonoros, a transmissão da luz, a capilaridade, as ondulações dos fluidos, finalmente os efeitos mais complexos de todas as forças naturais, e assim o pensamento de Newton foi confirmado: “*quod tam paucis tam multa præstet geometria gloriatur.*”<sup>21</sup>.

---

<sup>20</sup> Retirado da obra “Teoria Analítica do Calor” de Fourier, publicada em 1822. Nossa tradução, aqui apresentada, foi realizada a partir de obra na versão em Inglês (FOURIER, 2009). No APÊNDICE E, item “E.2.5. Fourier: vida e obra” (p. 549), apresenta-se um relato da vida e obra do matemático e físico francês Jean-Baptiste Joseph Fourier [1768-1830].

<sup>21</sup> (Nota do original de Fourier): *Philosophies naturalis principia mathematica. Auctoris præfatio ad lectorem. “Ac gloriatur Geometria quod tam paucis principiis aliunde petitis tam multa præstet”*. (Nota nossa): As frases têm como tradução: do corpo do texto principal, “*A partir de tão pouco, muitos resultados advêm da geometria gloriosa*” (tradução nossa); e da nota original, “*É a glória da geometria que, a partir desses poucos princípios, trazidos do nada, seja capaz de exibir tantos resultados*” (tradução conforme NEWTON; RICCI, 2009). A segunda frase utilizada por Fourier foi retirada do prefácio da monumental obra de Isaac Newton, “Princípios Matemáticos da Filosofia Natural” (também referido como *Principia Mathematica* ou somente *Principia*). Considerado o livro de ciências naturais de maior influência já publicado – contendo as leis de Newton para o movimento dos corpos, a fundamentação da mecânica clássica e a lei da gravitação universal – tal frase exprime a confiança soberba, o orgulho do triunfo e a fama que o método matemático proporcionou, motivo de euforia e entusiasmo que animou Newton após ficar deslumbrado com o poder da análise matemática na contribuição do maior, mais ordenado e, ao mesmo tempo, o mais minucioso e preciso sistema de filosofia natural que o ser humano o intelecto já conhecera até então.

(...)

O estudo profundo da natureza é a fonte mais fértil de descobertas matemáticas. Não apenas tem este estudo, que oferece um determinado objeto à investigação, a vantagem de excluir questões e cálculos vagos sem problema; é além de um método seguro de formar a própria análise, e de descobrir os elementos que nos interessa conhecer e que a ciência natural deve sempre preservar: esses são os elementos fundamentais que são reproduzidos em todos os efeitos naturais.

(...)

As equações analíticas, desconhecidas dos antigos geometras, que Descartes foi o primeiro a introduzir no estudo de curvas e superfícies, não se restringem às propriedades das figuras e às propriedades que são objeto da mecânica racional; eles se estendem a todos os fenômenos gerais. Não pode haver uma linguagem mais universal e mais simples, mais livre de erros e de obscuridades, isto é, mais digna de expressar as invariáveis relações das coisas naturais.

Considerada a partir desse ponto de vista, a análise matemática é tão extensa quanto a própria natureza; ela define todas as relações perceptíveis, medidas de tempos, espaços, forças, temperaturas; essa ciência difícil é formada lentamente, mas preserva todos os princípios que ela adquiriu; cresce e se fortalece incessantemente em meio às muitas variações e erros da mente humana.

Seu principal atributo é a clareza; ela não tem marcas para expressar noções confusas. Ela reúne os fenômenos mais diversos e descobre as analogias ocultas que os unem. Se a matéria nos escapa, assim como o ar e a luz, por sua extrema tenuidade, se os corpos são colocados longe de nós na imensidão do espaço, se o homem deseja conhecer o aspecto dos céus em épocas sucessivas separadas por um grande número de séculos, se as ações da gravidade e do calor são exercidas no interior da Terra em profundidades que serão sempre inacessíveis, a análise matemática ainda pode se apossar das leis desses fenômenos. Ela os torna presentes e mensuráveis, e parece ser uma faculdade da mente humana destinada a suplementar a brevidade da vida e a imperfeição dos sentidos; e o que é ainda mais notável, segue o mesmo curso no estudo de todos os fenômenos; interpretá-los pela mesma linguagem, como que para atestar a unidade e a simplicidade do plano do universo, e tornar ainda mais evidente essa ordem imutável que preside todas as causas naturais.

Os problemas da teoria do calor apresentam tantos exemplos das disposições simples e constantes que brotam das leis gerais da natureza; e se a ordem estabelecida nesses fenômenos pudesse ser apreendida por nossos sentidos, produziria em nós uma impressão comparável à sensação do som musical.



## Duas Atitudes em Face da Ciência<sup>22</sup>

A Ciência pode ser encarada sob dois aspectos diferentes. Ou se olha para ela tal como vem exposta nos livros de ensino, como *coisa criada*, e o aspecto é o de um todo harmonioso, onde os capítulos se encadeiam em ordem, sem contradições. Ou se procura acompanhá-la no seu desenvolvimento progressivo, assistir à maneira como *foi elaborada*, e o aspecto é totalmente diferente — descobrem-se hesitações, dúvidas, contradições, que só um trabalho de reflexão e apuramento consegue eliminar, para que logo surjam outras hesitações, outras dúvidas, outras contradições.

Descobre-se ainda qualquer coisa mais importante e mais interessante: — no primeiro aspecto, a Ciência *parece bastar-se a si própria*, a formação dos conceitos e das teorias parece obedecer só a necessidades interiores; no segundo, pelo contrário, vê-se toda a influência que o ambiente da vida social exerce sobre a criação da Ciência.

A Ciência, encarada assim, aparece-nos como um *organismo vivo*, impregnado de *condição humana*, com as suas forças e as suas fraquezas e subordinado às grandes necessidades do homem na sua luta pelo entendimento e pela *libertação*; aparece-nos, enfim, como um grande capítulo da vida humana social.

Será esta a atitude que tomaremos aqui. A Matemática é geralmente considerada como uma ciência à parte, desligada da realidade, vivendo na penumbra do gabinete, um gabinete fechado, onde não entram os ruídos do mundo exterior, nem o sol nem os clamores dos homens. Isto, só em parte, é verdadeiro.

Sem dúvida, a Matemática possui *problemas próprios*, que não têm ligação imediata com os outros problemas da vida social. Mas não há dúvida também de que os seus fundamentos mergulham *tanto como os de outro qualquer ramo da Ciência*, na vida real; uns e outros entroncam na mesma *madre*.

---

<sup>22</sup> Transcrição, com destaques do original, de parte do prefácio contido na 1ª edição de “Conceitos Fundamentais da Matemática”, publicação de 1941 pelo proeminente matemático português Bento de Jesus Caraça [1901-1948]. Nesta obra, Caraça destacou a sua visão sobre a importância da Matemática enquanto construção humana. Ao oferecer discussões conceituais aliadas às incursões históricas e filosóficas, Caraça revolucionou a abordagem da Matemática através de um tratamento interdisciplinar calcado em um enfoque dialético, enfatizando a relação histórica entre a teoria e a prática na produção do conhecimento matemático (MEDEIROS; MEDEIROS, 2003).



## RESUMO

OLIVEIRA, M. J. **Mudanças climáticas e ciclos naturais do clima: passado, presente e futuro da temperatura no Brasil**. 2021. 640 p. Tese (Doutorado-Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2021.

Os esforços para colocar as observações climáticas recentes em um contexto de longo prazo têm sido impulsionados pela preocupação sobre se a tendência de aquecimento global do séc. 20 faz parte da variabilidade natural do clima ou se está ligada ao aumento das emissões antropogênicas de gases de efeito estufa na atmosfera. É oferecida uma nova perspectiva sobre o clima e suas mudanças, ressaltando aquelas que ocorrem em virtude de ciclos naturais, geralmente pouco difundidos. Com o embasamento histórico sobre como o clima variou no passado, conduziu-se investigação estatística por meio de técnicas de séries temporais e análises espectrais/harmônicas (Séries de Fourier e espectrogramas), as quais permitiram determinar fenômenos naturais periódicos e suas magnitudes nas variações nacionais de temperatura. Identificou-se que a temperatura superficial do ar no Brasil exprime ciclos de 4 anos (origem oceânica-atmosférica relacionada ao ENOS), de 33 anos (ciclos de Brückner, de origem lunar-solar) e de 82 anos (ciclo inferior de Gleissberg, de origem solar). Fundamentando-se em modelo oscilatório alternativo que incorpora tais ciclos naturais, foram elaboradas projeções futuras da temperatura do ar no País. Para o ano de 2100, prevê-se que a temperatura do ar no Brasil pode atingir o valor de  $+1,8 \pm 0,6$  °C, segundo o modelo oscilatório natural. Em comparação, modelos convencionais tipicamente utilizados pelo IPCC indicam, até o final do século, um aumento de:  $+2,9 \pm 1,2$  °C (modelo RCP4.5, com mitigação);  $+3,9$  °C (modelo SRES A1); e  $5,7 \pm 1,7$  °C (modelo RCP8.5, sem mitigação). Os valores mais extremos dos modelos convencionais atingem proporções até 4 vezes maiores do que os resultados obtidos no modelo alternativo aqui disponibilizado. Analisando a aderência dos modelos, conclui-se que os modelos convencionais estão superestimando e exagerando uma taxa de aquecimento no Brasil que, na realidade, não tem sido observada. O modelo oscilatório natural proposto, que apresenta alta correlação com os dados observados até o momento, indica um incremento da temperatura no Brasil que pode chegar ao modesto valor de  $+0,8$  °C em 2040. Para o mesmo ano, os modelos convencionais (SRES A1 e RCP8.5) indicam valores em torno de  $+2,0$  °C – o que representa mais que o dobro da projeção fundamentada nos ciclos climáticos naturais. Com base nas projeções que indicam um aquecimento moderado, nada exagerado, é oferecida uma nova perspectiva de um clima futuro menos aterrorizante. Em um contexto em que predominam perniciosos discursos alarmistas, difusores de cenários de um aquecimento global apocalíptico, espera-se que novas visões ponderadas permitam apaziguar o nível de preocupação que hoje tem culminado em efeitos colaterais indesejáveis – em especial os elevados níveis de eco-ansiedade que vem afligindo parcelas significativas da sociedade.

**Palavras-chave:** aquecimento global, climatologia, IPCC, análise espectral, modelo climático, modelagem, projeção



## ABSTRACT

OLIVEIRA, M. J. **Climate change and natural climate cycles: past, present and future of temperature in Brazil**. 2021. 640 p. Doctoral Thesis. São Carlos School of Engineering, University of São Paulo, São Carlos, 2021.

Efforts to place recent climate observations in a long-term context have been driven by concerns about whether the global warming trend of the 20th century is part of natural climate variability or whether it is linked to increased anthropogenic emissions of greenhouse gases in the atmosphere. A new perspective on the climate and its changes is offered, highlighting those that occur due to natural cycles, which are generally not widespread. With the historical background on how the climate varied in the past, statistical research was conducted using time series techniques and spectral/harmonic analysis (Fourier series and spectrograms), which allowed the determination of periodic natural phenomena and their magnitudes in national variations of temperature. It was identified that the air surface temperature in Brazil expresses cycles of 4 years (oceanic-atmospheric origin related to ENSO), 33 years (Brückner cycles, lunar-solar origin) and 82 years (lower Gleissberg cycle, solar origin). Based on an alternative oscillatory model that incorporates such natural cycles, future projections of the air temperature in the country were prepared. For the year 2100, it is predicted that the air temperature in Brazil may reach the value of  $+1.8 \pm 0.6$  °C, according to the natural oscillatory model. In comparison, conventional models typically used by the IPCC indicate, by the end of the century, an increase of:  $+2.9 \pm 1.2$  °C (RCP4.5 model, with mitigation);  $+3.9$  °C (SRES A1 model); and  $+5.7 \pm 1.7$  °C (RCP8.5 model, without mitigation). The most extreme values of conventional models reach proportions up to 4 times greater than the results obtained in the alternative model provided here. Analyzing the adherence of the models, it is concluded that the conventional models are overestimating and exaggerating a warming rate in Brazil that, in reality, has not been observed. The proposed natural oscillatory model, which has a high correlation with the data observed so far, indicates an increase in temperature in Brazil that may reach a modest value of  $+0.8$  °C in 2040. For the same year, the SRES A1 and RCP8.5 models indicate values around  $+2.0$  °C – which represents more than double of the projection based on natural climate cycles. Based on the projections that indicate a moderate warming, not so exaggerated, a new perspective of a less terrifying future climate is offered. In a context in which pernicious alarmist discourses predominate, spreading scenarios of apocalyptic global warming, it is hoped that new pondered views could help to appease the level of concern that today, has culminated in undesirable side effects - especially the high levels of eco-anxiety that has afflicted significant portions of society.

**Keywords:** global warming, climatology, IPCC, spectral analysis, climate model, modeling, projection



# SUMÁRIO

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	<b>xi</b>
<b>DEDICATÓRIA</b> .....	<b>xiii</b>
<b>PROLEGÔMENOS</b> .....	<b>xv</b>
Discurso Preliminar .....	xv
Duas Atitudes em Face da Ciência .....	xvii
<b>RESUMO</b> .....	<b>xix</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xxi</b>
<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>29</b>
Organização do trabalho.....	33
Diretrizes e Premissas.....	34
<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>37</b>
<b>VOLUME 1 “PRINCIPAL”</b> .....	<b>39</b>
<b>PARTE I ABORDAGEM HISTÓRICA, GEOLÓGICA E PALEOCLIMÁTICA: Ciclos Climáticos Naturais</b> .....	<b>41</b>
<b>1. CAPÍTULO 1 CICLOS CLIMÁTICOS: Filosofia, História e Ciência do Clima – Métodos e Origens dos Estudos</b> .....	<b>43</b>
1.1.    Resumo.....	43
1.2.    Introdução.....	44
1.3.    Ciclos: conceitos.....	46
1.3.1.    Ciclos, Tempos e Clima.....	46
1.3.2.    Ciclos, Uniformitarismo e Atualismo .....	49
1.3.3.    Ciclos Naturais .....	50
1.3.4.    Ciclos Climáticos.....	51
1.4.    Geociências e Paleociências .....	52
1.4.1.    Paleoclimatologia .....	53
1.4.1.1.    Paleotemperatura.....	54
1.5.    Métodos de Estudo dos Ciclos Climáticos: Determinação da Temperatura Terrestre.....	54
1.5.1.    Medições Recentes da Temperatura do Ar.....	55
1.5.2.    Reconstruções do Clima no Passado .....	55
1.5.2.1.    Climatologia Histórica .....	57
1.5.2.2.    Testemunhos.....	58
1.5.3.    Estimativas futuras da temperatura do ar .....	63
1.6.    História da origem dos pensamentos filosóficos, estudos paleoclimáticos e dos ciclos climáticos.....	64
1.6.1.    Pré-história: Registros Arqueológicos.....	64
1.6.1.1.    Arqueologia e Arte Megalítica – <i>Newgrange</i> (Irlanda) .....	64
1.6.2.    História: Pensamentos Históricos e Mitológicos.....	72
1.6.2.1.    Mitologia Egípcia – Mito de Osíris .....	76
1.6.2.2.    Mitologia Cananeia – Ciclo de Baal.....	76
1.6.2.3.    Mitologia Grega – Deus Aion .....	78
1.6.3.    Estudos Paleoclimáticos .....	80
1.6.4.    Ciclos Climáticos .....	83
1.6.4.1.    Ciclos Solares de Schwabe.....	85

1.6.4.2.	Ciclos de Brückner .....	88
1.6.4.3.	Ciclos Orbitais de Milankovitch .....	97
1.6.4.4.	Ciclos Climáticos na Atualidade.....	100
1.7.	Considerações Finais.....	101
<b>2.</b>	<b>CAPÍTULO 2 CICLOS CLIMÁTICOS: Causas Naturais de Mudanças Climáticas.....</b>	<b>103</b>
2.1.	Resumo.....	103
2.2.	Introdução .....	103
2.3.	Ciclos Climáticos e Fenômenos Correlatos.....	105
2.3.1.	Variações das Emissões Solares .....	106
2.3.1.1.	Ciclos Solares de Schwabe .....	106
2.3.1.2.	Outros Ciclos Solares.....	110
2.3.1.3.	Movimento Inercial Solar.....	111
2.3.2.	Variações Orbitais Terrestres .....	113
2.3.2.1.	Ciclos Diários e Anuais .....	113
2.3.2.2.	Variações da Duração do Dia e do Ano.....	115
2.3.2.3.	Ciclos Glaciais de Milankovitch .....	117
2.3.3.	Variações da Atmosfera e Superfície Terrestre.....	121
2.3.3.1.	Aerossóis.....	121
2.3.3.2.	Atividade Vulcânica .....	122
2.3.3.3.	Colisões de Asteroides ou Cometas.....	124
2.3.3.3.1.	Extinções em Massa .....	129
2.3.3.4.	Guerras Nucleares.....	133
2.3.4.	Variações dos Oceanos e Magnetismo .....	134
2.3.4.1.	Oscilações Oceânicas.....	134
2.3.4.1.1.	Influência da Lua.....	139
2.3.4.2.	Circulação Termohalina.....	141
2.3.4.3.	Magnetismo Terrestre e Inversões Magnéticas.....	142
2.3.5.	Superciclos: Tectonismo, Vulcanismo e Raios Cósmicos .....	143
2.3.5.1.	Modos Climáticos do Fanerozoico.....	143
2.3.5.1.1.	Modos Geladeira-Estufa .....	144
2.3.5.2.	Movimentação Tectônica .....	147
2.3.5.3.	Raios Cósmicos .....	149
2.4.	Síntese Multitemporal dos Ciclos Climáticos.....	152
2.4.1.	Tipos de variações climáticas .....	157
2.4.2.	Periodicidade e Aleatoriedade .....	157
2.5.	Considerações Finais.....	158
<b>3.</b>	<b>CAPÍTULO 3 CICLOS CLIMÁTICOS: Retrospectiva Histórica, Conjuntura Atual e Nova Perspectiva ao Recente Aquecimento Global....</b>	<b>161</b>
3.1.	Retrospectiva Histórica, Conjuntura Atual: Temperatura do ar no Brasil.....	161
3.1.1.	Passado .....	162
3.1.1.1.	Reconstruções nos últimos dois milênios.....	163
3.1.1.2.	Reconstruções inter-hemisféricas .....	169
3.1.1.3.	Reconstruções na América do Sul .....	174
3.1.1.4.	Reconstruções no Brasil.....	180
3.1.2.	Presente e futuro .....	183
3.1.2.1.	Observações e projeções convencionais.....	184
3.1.2.1.1.	Mundo .....	184
3.1.2.1.2.	América do Sul .....	186
3.1.2.1.3.	Brasil.....	189
3.1.2.2.	Observações e projeções alternativas .....	196
3.2.	Nova Perspectiva ao Recente Aquecimento Global.....	197
3.2.1.	O “hiato no aquecimento global” de 1998-2012 .....	198
3.2.2.	Breve histórico de análises sobre oscilações do clima – antes da “descoberta do hiato” em 2012 .....	209
3.2.3.	Análises sobre oscilações do clima – após da “descoberta do hiato” em 2012 .....	224
3.2.4.	Modelos climáticos alternativos, baseados em análise espectral.....	240
3.2.4.1.	Trabalhos de Nicola Scafetta .....	248



3.3.	Considerações finais .....	263
<b>PARTE II ABORDAGEM ESTATÍSTICA: Avaliação e Previsão da Temperatura do Ar .....</b>		<b>265</b>
<b>4.</b>	<b>CAPÍTULO 4 Séries temporais: Métodos de Análise – Histórico, Conceitos e Ferramentas .....</b>	<b>267</b>
4.1.	Introdução.....	267
4.2.	Processamento de sinais .....	268
4.2.1.	Análise de dados.....	269
4.2.1.1.	Estatística descritiva .....	270
4.2.1.2.	Estatística inferencial.....	271
4.2.1.3.	Dados.....	271
4.2.1.3.1.	Variabilidade .....	272
4.2.1.3.2.	Tipos de ruído .....	273
4.2.1.3.3.	Intervalo de confiança.....	274
4.2.2.	Sinais como séries temporais.....	274
4.3.	Fundamentos de séries temporais.....	275
4.3.1.	Séries.....	275
4.3.2.	Séries temporais .....	276
4.3.3.	Classificação de séries temporais.....	276
4.3.4.	Componentes das séries temporais .....	277
4.3.5.	Processo estocástico, trajetória e variável aleatória .....	278
4.3.6.	Estacionariedade.....	280
4.3.7.	Sazonalidade e ciclos.....	280
4.4.	Análise de séries temporais .....	281
4.4.1.	Domínio do tempo .....	283
4.4.1.1.	Elaboração de gráficos.....	283
4.4.1.2.	Decomposição da série temporal .....	283
4.4.1.3.	Obtenção de estacionariedade .....	285
4.4.1.3.1.	Remoção de tendência .....	286
4.4.1.4.	Suavização e filtros .....	287
4.4.1.5.	Modelagem e previsão .....	288
4.4.2.	Domínio do tempo-frequência (Análise Espectral) .....	289
4.4.2.1.	Análise de Fourier.....	290
4.4.2.1.1.	Série de Fourier (Análise harmônica).....	291
4.4.2.1.1.1.	Formato exponencial .....	292
4.4.2.1.1.2.	Modelo senoidal simples.....	292
4.4.2.1.1.3.	Formato trigonométrico geral.....	294
4.4.2.1.1.4.	Espectro de Potência, Espectrograma e Periodograma .....	296
4.4.2.1.2.	Transformada de Fourier .....	306
4.4.2.1.2.1.	Cálculo da transformada de Fourier.....	307
4.4.2.1.2.2.	Estimativa espectral.....	308
4.4.2.1.2.3.	Suavizações do espectro: janelas .....	310
4.5.	Ferramentas de análise de séries temporais.....	311
<b>5.</b>	<b>CAPÍTULO 5 Séries temporais: Resultados – Modelagem e Previsão de Séries de Temperatura do Ar .....</b>	<b>315</b>
5.1.	Introdução.....	315
5.2.	Seleção dos dados de temperatura.....	315
5.3.	Levantamento e seleção de ferramentas de análise ( <i>softwares</i> ) .....	318
5.4.	Instruções (programação) de elaboração dos cálculos e confecção dos gráficos.....	321
5.5.	Análise da temperatura do ar global .....	322
5.5.1.	ETAPA 1 – Análise Descritiva e Remoção de Tendência .....	322
5.5.2.	ETAPA 2 – Análises Espectrais.....	329
5.5.2.1.	Periodograma – Método de Lomb-Scargle .....	329
5.5.2.2.	Periodograma – Método Multi Taper (MTM).....	333
5.5.2.3.	Periodograma – Método da Máxima Entropia (MEM).....	334
5.5.2.4.	Periodograma – Transformada Rápida de Fourier (FFT).....	335

5.5.2.5.	Síntese dos periodogramas.....	336
5.5.3.	ETAPA 3 – Análise Preditiva: Modelagem e Projeções.....	338
5.6.	Análise da temperatura do ar no Brasil.....	342
5.6.1.	ETAPA 1 – Análise Descritiva e Remoção de Tendência.....	342
5.6.2.	ETAPA 2 – Análises Espectrais.....	345
5.6.2.1.	Periodograma – Método de Lomb-Scargle.....	345
5.6.2.2.	Síntese dos periodogramas.....	346
5.6.3.	ETAPA 3 – Análise Preditiva: Modelagem e Projeções.....	351
5.6.3.1.	Projeções complementares.....	355
5.7.	Comparação e validação das projeções de temperatura do ar no Brasil.....	358
5.7.1.	Comparação de modelos.....	359
5.7.2.	Validação de modelos e projeções.....	365

## CONCLUSÕES ..... 371

## VOLUME 2 “COMPLEMENTAR” ..... 373

### PARTE III ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO ..... 375

#### A. APÊNDICE A CORRESPONDÊNCIA ENTRE CAPÍTULOS E PUBLICAÇÕES..... 377

### PARTE IV ABORDAGEM TEÓRICA E CONCEITUAL: Contextualização ..... 379

#### B. APÊNDICE B MUDANÇAS CLIMÁTICAS: Conceituação e Problematização..... 381

#### C. APÊNDICE C MUDANÇAS CLIMÁTICAS: Evolução do Interesse Mundial pelo Tema..... 383

#### D. APÊNDICE D MUDANÇAS CLIMÁTICAS: Motivação pela Educação e Popularização da Ciência..... 385

### PARTE V ABORDAGEM HISTÓRICA E FILOSÓFICA: Origens da Análise Harmônica (Técnicas Estatísticas) e da Harmonia..... 387

#### E. APÊNDICE E ANÁLISE HARMÔNICA: Breve Retrospectiva Histórica..... 389

##### E.1. Introdução..... 389

##### E.1.1. Motivação inicial: compreensão da natureza e do Universo..... 389

##### E.2. Análise Harmônica..... 391

##### E.2.1. Conceitos preliminares: *Combinação, Análise e Harmonia*..... 391

##### E.2.2. Filosofia: princípios da harmonia na Grécia antiga..... 393

##### E.2.3. Música: raízes matemáticas e astronômicas..... 396

##### E.2.4. Pré-Fourier: o problema da corda vibrante..... 412

##### E.2.5. Fourier: vida e obra..... 414

##### E.2.6. Pós-Fourier: do analógico ao digital..... 417

##### E.2.6.1. Consolidação da Análise Harmônica..... 418

##### E.3. *Fast Fourier Transform (FFT)*..... 420

##### E.3.1. Evolução dos meios e do tempo de cálculo da FFT..... 420

##### E.3.2. História da FFT..... 422

### PARTE VI ESTUDOS E DADOS: Material e Métodos ..... 425

#### F. APÊNDICE F MATERIAL: Obtenção e Avaliação de Séries de Temperatura do Ar no Brasil..... 427

##### F.1. INTRODUÇÃO..... 427

##### F.2. A expansão urbana como processo de “transformação” de estações climatológicas rurais em urbanas..... 427

##### F.3. Temperatura do ar no Brasil: Análise preliminar de dados obtidos na rede do INMET, de 1961 a 2011..... 428

##### F.4. Distribuição e representatividade espacial da rede brasileira de estações climatológicas do INMET para uso potencial dos dados de temperatura do ar..... 428

F.5.	Evolução temporal da localização média da temperatura do ar obtida em estações da rede do INMET.....	428
F.6.	Temperatura do ar no Brasil desde 1832: comparação dos dados do INMET, HadCRUT4 e BEST .....	428
<b>G.</b>	<b>APÊNDICE G MATERIAL: Séries de Temperatura do Ar (Global e no Brasil).....</b>	<b>429</b>
G.1.	Temperatura superficial do ar global – HADCRUT3.....	429
G.2.	Temperatura superficial do ar global – BEST.....	431
<b>H.</b>	<b>APÊNDICE H MATERIAL: Códigos de Programação .....</b>	<b>435</b>
H.1.	<i>ARIST</i> .....	435
H.2.	<i>RStudio</i> .....	439
H.2.1.	Códigos de análise da temperatura – GLOBAL.....	439
H.2.1.1.	ETAPA 1 – Análise Descritiva e Remoção de Tendência.....	439
H.2.1.2.	ETAPA 2 – Análises Espectrais .....	442
H.2.1.3.	ETAPA 3 – Análise Preditiva: Modelagem e Projeções.....	448
H.2.2.	Códigos de análise da temperatura – BRASIL.....	454
H.2.2.1.	ETAPA 1 – Análise Descritiva e Remoção de Tendência.....	454
H.2.2.2.	ETAPA 2 – Análises Espectrais .....	457
H.2.2.3.	ETAPA 3 – Análise Preditiva: Modelagem e Projeções.....	465
<b>PARTE VII</b>	<b>ABORDAGEM CRÍTICA: Implicações Práticas .....</b>	<b>471</b>
<b>I.</b>	<b>APÊNDICE I MUDANÇAS CLIMÁTICAS: Ensaio Estendido sobre Repercussões Políticas, Econômicas e Sociais .....</b>	<b>473</b>
I.1.	INTRODUÇÃO.....	473
I.2.	PERGUNTA 01 .....	473
I.2.1.	REFLEXÕES INICIAIS .....	474
I.2.1.1.	Crise ou emergência climática e o colapso ambiental-civilizacional: uma tragédia anunciada inevitável? .....	474
I.2.1.2.	Colapsologia e eco-catastrofismo: a racionalização da tragédia (catástrofe, colapso e apocalipse) .....	476
I.2.2.	PONDERAÇÕES PRELIMINARES – PROBLEMAS PRIORITÁRIOS DA HUMANIDADE.....	478
I.2.2.1.	A “emergência climática” é o maior problema ambiental contemporâneo?.....	478
I.2.2.2.	A “emergência climática” é o maior de todos os problemas atuais da humanidade? .....	482
I.2.2.3.	Concorrência e prevalência dos problemas.....	490
I.2.3.	PREOCUPAÇÃO, MEDO E ANSIEDADE .....	491
I.2.3.1.	Definições: preocupação (normal e problemática), medo e ansiedade .....	492
I.2.3.2.	Raízes psicológicas da ansiedade: medo do desconhecido e a incerteza sobre o futuro .....	492
I.2.3.3.	Fisiologia e neurologia do medo.....	494
I.2.3.4.	Evolução temporal do medo .....	495
I.2.3.5.	Sobrevivencialismo: preparados e protegidos, ou paranoicos para um eventual colapso? .....	499
I.2.4.	O PROBLEMA DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS .....	499
I.2.4.1.	A origem do problema climático no meio científico .....	499
I.2.4.2.	A origem do problema climático no meio político .....	499
I.2.4.3.	Os ciclos e fases do tópico “mudanças climáticas” .....	501
I.2.4.4.	O início do alarmismo climático .....	503
I.2.4.5.	Prenúncio da “emergência climática” .....	506
I.2.5.	DISPARADORES DO ALARME CLIMÁTICO .....	507
I.2.5.1.	Dilemas científicos: alarmar ou não? .....	508
I.2.5.2.	Estratégias alarmistas .....	508
I.2.5.3.	Os papéis da ciência e da mídia.....	509
I.2.5.4.	Níveis de produção científica.....	512
I.2.5.5.	Níveis de divulgação midiática .....	513
I.2.5.6.	Popularização de palavras e termos .....	513
I.2.5.7.	Discursos midiáticos .....	518
I.2.5.8.	Discursos de autoridades, lideranças, famosos, celebridades, ativistas etc. ....	520
I.2.6.	REAÇÃO AO ALARMISMO CLIMÁTICO .....	523
I.2.6.1.	Níveis de interesse das pessoas .....	523
I.2.6.2.	Níveis de preocupação das pessoas.....	526
I.2.7.	RISCOS, PERIGOS E AMEAÇAS: PERCEPÇÃO, ANÁLISE E PÚBLICOS VULNERÁVEIS.....	529
I.2.7.1.	Percepção humana dos riscos .....	529

1.2.7.2.	Análise de risco: riscos percebidos e riscos reais.....	530
1.2.7.3.	Amplificação social do risco.....	532
1.2.7.4.	Estimativas dos riscos globais.....	536
1.2.7.5.	Pessoas mais vulneráveis aos alertas de riscos/perigos.....	542
1.2.7.6.	Jovens: os mais vulneráveis ao alarmismo.....	542
1.2.8.	DOENÇAS AMBIENTAIS.....	548
1.2.8.1.	Tipos de doenças ambientais.....	548
1.2.8.2.	Origem da eco-ansiedade.....	552
1.2.8.3.	Eco-ansiedade na atualidade.....	554
1.2.8.4.	Sintomas da eco-ansiedade/ansiedade climática.....	555
1.2.8.5.	Preocupação e atitudes ambientais.....	557
1.2.8.6.	Ativismo e eco-ansiedade.....	558
1.2.8.7.	Tratamento da eco-ansiedade.....	559
1.2.9.	CAMINHOS PARA A SOLUÇÃO DOS PROBLEMAS CLIMÁTICOS.....	562
1.2.9.1.	Contexto histórico do problema climático.....	562
1.2.9.2.	Possíveis soluções do problema climático.....	562
1.2.9.3.	Impasses e fracassos nas soluções do problema climático.....	563
1.2.9.4.	Combate às mudanças climáticas: custos e investimentos financeiros.....	565
1.2.9.5.	Transição energética: o fim da “era do petróleo”?.....	566
1.2.9.6.	Mudanças climáticas: um “super problema perverso”.....	569
1.2.9.7.	Prognóstico geral das mudanças climáticas.....	570
1.2.10.	REFLEXÕES FINAIS.....	571
1.2.11.	RESPOSTA SINTÉTICA À PERGUNTA 01.....	574
1.2.11.1.	Breve resumo e contextualização.....	574
1.2.11.2.	Papel e conduta da mídia.....	575
1.2.11.3.	Posicionamento crítico ao alarmismo.....	576
1.2.11.4.	Atitudes pessoais contra o alarmismo.....	577
1.2.11.5.	Informações confiáveis em um mundo de <i>fakenews</i> , desinformação e pós-verdade.....	577
1.3.	PERGUNTA 02.....	578
1.3.1.	PARÁBOLA DA VERDADE E DOS NÍVEIS DE CONHECIMENTO.....	578
1.3.2.	NÍVEIS DE CONHECIMENTO, INSTRUÇÃO E ALFABETISMO DA POPULAÇÃO BRASILEIRA.....	580
1.3.3.	AUMENTO DO CONHECIMENTO = MAIOR ANSIEDADE?.....	581
1.4.	PERGUNTA 03.....	582
1.5.	PERGUNTA 04.....	584
1.5.1.	GRETA THUNBERG.....	589
1.5.2.	ATIVISMO CLIMÁTICO JUVENIL.....	590
1.5.3.	SÍNTESE E PERSPECTIVAS FUTURAS.....	592
1.6.	PERGUNTA 05.....	592

<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>595</b>
-------------------------	------------

## INTRODUÇÃO

No atual cenário de previsões apocalípticas sobre os efeitos das atividades humanas sobre o clima, entender profundamente as causas das mudanças climáticas consiste em um grande desafio. Seria a atividade antrópica realmente capaz de suplantiar e impor novos patamares à variabilidade natural do clima da Terra? A resposta requer considerar informações por vezes contraditórias às hodiernas concepções convencionais relativas às mudanças climáticas. O presente trabalho propõe-se a apresentar uma nova perspectiva sobre o recente aquecimento global, a partir da investigação e ponderação das múltiplas causas das variações climáticas. Com base na identificação estatística de ciclos climáticos naturais em série de temperatura do ar no Brasil, pretende-se, também, apresentar cenários futuros menos chocantes, com taxas de aumento das temperaturas dentro de limites aceitáveis, os quais não indicam ser motivo de tanta preocupação.

Uma definição precisa de ciclos emerge de uma revisão histórica das origens do estudo dos ciclos climáticos, bem como das causas de mudanças no clima, como: (a) o recente aquecimento global, possivelmente antropogênico; e especialmente (b) a mudança climática passada ou paleoclimática, que envolve diversas variabilidades naturais, como as alterações (b1) das emissões solares, (b2) dos parâmetros orbitais terrestres, (b3) da atmosfera e da superfície terrestre, e (b4) de outras causas naturais, como atividades vulcânicas, colisão de meteoritos e cometas, raios cósmicos e tectonismo.

As mudanças do clima obedecem a uma hierarquia de controles e respostas, começando no mais alto nível – com os controles externos de clima, prosseguindo ao longo dos níveis em escalas global, hemisférico, continental e regional – e terminando no nível mais baixo, com as alterações das variáveis climáticas individuais em locais específicos. No decorrer do longo Tempo Geológico, em um dado nível da hierarquia, uma resposta controla as variações dos componentes em níveis inferiores. Ao sintetizarmos os tipos de mudanças climáticas, revela-se que, embora possa ser difícil ou mesmo impossível atribuir uma variação do clima em um dado local a uma configuração específica de controles de nível superior, as variações de curto prazo em níveis mais baixos são fortemente condicionadas pelo estado particular do sistema nos níveis mais elevados.

Portanto, qualquer discussão sobre mudança climática deve primeira e obrigatoriamente reconhecer as escalas espaciais e temporais do sistema em análise, bem como os mecanismos físicos e os respectivos tipos de variabilidade natural do clima. Além das óbvias mudanças diárias e sazonais, a variabilidade da temperatura atmosférica também está sujeita a algumas outras oscilações e ciclos pouco percebidos, devido à escala que foge à percepção humana e, logo, são

ciclos pouco conhecidos. O caráter periódico das mudanças climáticas na Terra pode ser explicado em termos de um número limitado de fatores terrestres e astronômicos:

- No escopo das escalas anual e diária, o clima varia conforme os movimentos astronômicos de translação e rotação terrestre.
- A maioria dos ciclos climáticos de períodos médios, na ordem de milênios, séculos e décadas, está provavelmente relacionada com mudanças na radiação solar, provocadas pelas influências de grandes planetas do sistema solar.
- Na ordem de dezenas de anos, os fatores terrestres se manifestam por meio das oscilações oceânicas, possivelmente causadas pelas mesmas influências planetárias. A lua parece influenciar indiretamente o clima ao interferir nas oscilações oceânico-atmosféricas.
- Ciclos climáticos longos, com períodos entre dezenas e centenas de milhares de anos, são causados por variações nos parâmetros da órbita da Terra (excentricidade, inclinação axial e precessão dos equinócios), outra ordem de influência astronômica bastante definida.
- Os chamados superciclos, na ordem de dezenas de milhões de anos, são marcados por eventos de impacto de grandes corpos no planeta, resultando em eventos de extinções em massa. Tal mecanismo também é motivado por fator astronômico, que, nesse caso, está relacionado à oscilação vertical do sistema solar em relação ao plano galáctico. Outros superciclos, com períodos de centenas de milhões de anos, estão relacionados com a atividade endógena da Terra (tectonismo, vulcanismo e ciclos dos supercontinentes), com possível indução celeste relacionada ao movimento do sistema solar ao redor do centro da Via Láctea e à decorrente variação na quantidade de raios cósmicos. O controle astronômico dessas flutuações é evidente a partir de sua manifestação, ao longo da história Fanerozoica, nos ambientes climáticos, tectônicos, paleogeográficos e bióticos da Terra.

Assim, os fatores astronômicos permeiam praticamente todas as ordens dos ciclos climáticos, atuando direta ou indiretamente nos diversos processos bio-geo-oceânico-atmosféricos. Portanto, o clima é definido por mecanismos internos relacionados a oscilações oceânico-atmosféricas e por mecanismos celestes que envolvem a Terra e a sua relação com a Lua, o Sol, os planetas, o sistema solar e, inclusive, a Galáxia.

Apelando à necessidade humana de entender e atribuir significados ao Universo, várias ciclicidades de fenômenos na Terra têm sido propostas. Uma história cíclica de eventos na Terra, sejam estes de ordem climática ou de qualquer outro componente ambiental, é uma história mais simples e razoável de ser assimilada, enquanto que uma sequência aleatória de eventos é difícil

de ser consagrada, difícil de ser entendida e improvável de ser admirada. Logo, é bastante natural a busca de uma ordem lógica dos fenômenos naturais.

No tocante aos fenômenos climáticos, os ciclos diários, sazonais e anuais são naturalmente percebidos e já fazem parte da vivência cotidiana e do senso comum das pessoas. O fenômeno El Niño/La Niña representa o caso relativamente mais conhecido dos ciclos intermediários das oscilações atmosférico-oceânicas. Os ciclos orbitais de Milankovitch ainda são pouco conhecidos na cultura popular, mas já estão bastante aceitos na comunidade científica. Os grandes ciclos cósmicos, relacionados à translação do sistema solar ao redor do centro da Via Láctea, ainda são pouco compreendidos, nos impelindo a refletir sobre nosso limitado conhecimento atual perante os fenômenos de escalas superiores.

Até o momento, a discussão sobre alguns ciclos tem provocado mais crítica do que aplausos, mas justamente essa é a marca do mérito: sem proposição e rejeição de novas ideias, não há evolução e progresso do conhecimento. Conseqüentemente, somente com a riqueza de informações, algumas vezes contraditórias, pode-se desenvolver uma visão mais ampla e clara das causas de mudanças climáticas. Nesse sentido, a abordagem do tema proposto almeja fornecer uma compreensão de como o clima naturalmente mudou no passado e, assim, permite colocar em uma nova perspectiva os interesses e preocupações com as atuais mudanças climáticas.

O aumento repentino e acentuado da temperatura média global nos últimos 150 anos tem sido atribuído ao aumento das emissões antropogênicas de gases de efeito estufa. Entretanto, as causas de mudanças climáticas não são exclusividades humanas; são variadas e estão sujeitas a diversos fatores naturais: variações da radiação solar; variações dos parâmetros orbitais terrestres; variações da composição atmosférica e superfície terrestre causadas por atividades vulcânicas e colisão de meteoritos e cometas; variações dos raios cósmicos; tectonismo etc.

Uma vez que muitos pesquisadores modelam o clima e fazem projeções para as próximas décadas, supondo uma atmosfera futuramente mais quente, não se deve deixar de atentar para a existência dos ciclos climáticos naturais, em qualquer direção que estes possam rumar, seja de aquecimento ou de resfriamento. Se existem periodicidades em relação às tendências da temperatura, então o conhecimento dos ciclos naturais certamente é imprescindível para qualquer previsão de temperatura futura baseada no aumento do efeito de estufa. Se o clima nas escalas de décadas, séculos, milênios e talvez até de milhões de anos tem sido regido por ciclos previsíveis – impulsionados em parte por características regulares de energia solar e/ou solar-planetária e até mesmo dos raios cósmicos – então há esperanças de que as tendências futuras do clima possam ser previstas e planejadas de modo que permitam apresentar resultados de mudanças climáticas menos catastrofistas e mais realistas para a população humana poder lidar.

Perante tantas causas naturais de mudanças climáticas, muitas das quais apresentam comportamento eminentemente periódicos, ficam as indagações: Seriam as mudanças atuais no clima causadas ou agravadas por atividades humanas emissoras de gases de efeito estufa? Ou seriam ocasionadas por ciclos naturais? A Terra estaria apenas experimentando uma fase de aquecimento global natural que em breve pode se reverter para uma fase de resfriamento global?

Entre todas as possíveis e variadas respostas, é primordial que seja reconhecido que a história do clima na Terra é resultante de uma rede complexa de mudanças, ocorrendo em diversas escalas tempo-espaciais, conforme a combinação de hierarquias de controles e respostas com comportamentos cíclicos e flutuações aleatórias. O clima já mudou muito no passado e tudo indica que, com ou sem a interferência humana, continuará sempre mudando. Quanto ao grau da influência humana no clima, a questão ainda permanece em discussão, contudo, com os resultados da pesquisa desenvolvida, são apresentados elementos para uma nova visão de sua real dimensão.

Como principal resultado final da pesquisa, são oferecidos elementos para responder uma das questões mais intrincadas no debate atual sobre o aquecimento global: parte do aumento recente da temperatura terrestre pode ser atribuído às causas naturais? Somente pela compreensão de como o clima pode mudar naturalmente, e de quanto às mudanças observadas fazem parte de um conjunto de padrões cíclicos previsíveis, é que será possível chegar a um julgamento confiável sobre a magnitude do impacto das atividades humanas no clima da Terra.



## Organização do trabalho<sup>23</sup>

Para facilitar a compreensão do tema vasto e complexo, o trabalho está organizado na forma de **CAPÍTULOS** e **APÊNDICES**, agregados em sete partes, estando estas divididas em dois volumes. O quadro a seguir sintetiza a estrutura geral da Tese:

VOLUME	PARTE	CAPÍTULO/APÊNDICE	PREMISSA	PÁG.
1 – “PRINCIPAL”	I – ABORDAGEM HISTÓRICA, GEOLÓGICA E PALEOCLIMÁTICA: Ciclos Climáticos Naturais	<b>CAPÍTULO 1</b> – CICLOS CLIMÁTICOS: Filosofia, História e Ciência do Clima – Métodos e Origens dos Estudos	Histórica, Filosófica e Didática	43
		<b>CAPÍTULO 2</b> – CICLOS CLIMÁTICOS: Causas Naturais de Mudanças Climáticas	Didática e Gráfica	103
		<b>CAPÍTULO 3</b> – CICLOS CLIMÁTICOS: Retrospectiva Histórica, Conjuntura Atual e Nova Perspectiva ao Recente Aquecimento Global	Histórica, Didática e Gráfica	161
	II – ABORDAGEM ESTATÍSTICA: Avaliação e Previsão da Temperatura do Ar	<b>CAPÍTULO 4</b> – SÉRIES TEMPORAIS: Métodos de Análise – Histórico, Conceitos e Ferramentas	Histórica, Didática e Gráfica	267
		<b>CAPÍTULO 5</b> – SÉRIES TEMPORAIS: Resultados – Modelagem e Previsão de Séries de Temperatura do Ar	Estatística e Gráfica	315
2 – “COMPLEMENTAR”	III – ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	<b>APÊNDICE A</b> – Correspondência entre Capítulos e Publicações	–	377
	IV – ABORDAGEM TEÓRICA E CONCEITUAL: Contextualização	<b>APÊNDICE B</b> – MUDANÇAS CLIMÁTICAS: Conceituação e Problematização	Didática/Educacional	381
		<b>APÊNDICE C</b> – MUDANÇAS CLIMÁTICAS: Evolução do Interesse Mundial pelo Tema	Gráfica	383
		<b>APÊNDICE D</b> – MUDANÇAS CLIMÁTICAS: Motivação pela Educação e Popularização da Ciência	Didática/Educacional	385
	V – ABORDAGEM HISTÓRICA E FILOSÓFICA: Origens da Análise Harmônica (Técnicas Estatísticas) e da Harmonia	<b>APÊNDICE E</b> – ANÁLISE HARMÔNICA: Breve Retrospectiva Histórica	Histórica e Filosófica	389
	PARTE VI – ESTUDOS E DADOS: Material e Métodos	<b>APÊNDICE F</b> – MATERIAL: Obtenção e Avaliação de Séries de Temperatura do Ar no Brasil	Estatística e Gráfica	427
		<b>APÊNDICE G</b> – MATERIAL: Séries de Temperatura do Ar (Global e no Brasil)	Estatística e Gráfica	429
		<b>APÊNDICE H</b> – MATERIAL: Códigos de Programação	Estatística e Gráfica	435
PARTE VII – ABORDAGEM CRÍTICA: Implicações Práticas	<b>APÊNDICE I</b> – MUDANÇAS CLIMÁTICAS: Ensaio Estendido sobre Repercussões Políticas, Econômicas e Sociais	Histórica e Filosófica	473	

<sup>23</sup> É cada vez mais comum dissertações e teses em programas de pós-graduação acadêmicos serem escritas na forma de coletâneas de artigos. Seguindo tal tendência atual – invés de adotar o formato de uma monografia tradicional contendo as típicas seções concatenadas –, esta “tese de compilação” está estruturada na forma de capítulos que correspondem, em boa parte, a artigos já publicados ao longo da pesquisa; e, outra parte, em manuscritos inéditos ainda não publicados. Cada capítulo, coeso em si mesmo, possui relativa independência em relação aos demais. Todavia, a ideia central de cada um dos capítulos possui ramificações e vínculos variados, de modo que cada um se complementa reciprocamente.

## Diretrizes e Premissas

Alguns capítulos foram escritos com foco em uma ou mais das seguintes diretrizes e premissas:

- **Premissas didáticas/educacionais:** estímulo, difusão e popularização do conhecimento, com vistas à literacia científica e climática.

Por meio da maior flexibilidade no uso da linguagem, menos formal, com menos “jargões” (terminologias especializadas), com conceitos mais simples (ou maior dedicação em explicações didáticas sobre termos técnicos mais complexos), adota-se discursos e formatos mais adaptados à divulgação científica, à difusão do conhecimento e à popularização dos temas tratados.

Assume-se como diretriz o uso de linguagem mais acessível, didática, voltada a um público amplo, podendo ser lido e facilmente compreendido por especialistas, profissionais e estudiosos de outras áreas e até mesmo curiosos com algum nível de instrução acadêmica, técnica e/ou científica. Assim, facilitar a compreensão de ideias complexas é tornar acessível um conhecimento sistemático a qualquer indivíduo dotado de razão lógica e disposto a aprender.

Além da adequação da linguagem, vocabulário e estilo, utiliza-se verbetes e notas de rodapé para explicações adicionais, bem como aproveita-se a exploração de recursos visuais, como figuras e gráficos coloridos, além de formatações estilizadas que sejam agradáveis à leitura geral e que proporcionem melhor assimilação de ideias.

Diante desse contexto, a premissa fundamental é apresentar um texto científico escrito para um “leitor universal”, ou seja, qualquer interlocutor interessado em se aprofundar em tópicos explicativos sistemática e didaticamente construídos. O objetivo de tais textos é tornar compreensível, para o maior número de leitores possível, algumas das descobertas e desenvolvimentos recentes sobre a temática climática.

A escrita não tão técnica, com uma prosa menos rebuscada e maior fluidez, pode, inclusive, facilitar o acesso por jornalistas científicos. Tais profissionais são capazes de favorecer a divulgação das ideias e descobertas também na grande imprensa e/ou veículos midiáticos digitais de elevada circulação, tornando, por fim, o conhecimento científico ainda mais acessível ao grande público.

É sabido que dissertações e teses aprovadas atualmente costumam estar disponíveis em acesso livre no Portal de Teses da Capes, na página da *Internet* do respectivo programa, ou em Portal de Teses da Universidade. Desse modo, para efeito de difusão do conhecimento, tais monografias não ficarão somente fisicamente disponíveis nas bibliotecas

das respectivas Universidades. Quando publicados, os conteúdos digitais de dissertações e teses tornam-se rapidamente acessíveis ao grande público da *Internet*.

Cada vez mais, as mudanças climáticas são um assunto de elevado interesse mundial. As pessoas se preocupam com o tema, entretanto, poucas dominam até mesmo conceitos básicos associados ao clima. Tendo em mente a importância das repercussões e preocupações que o tema pode implicar na vida das pessoas, adaptar o conteúdo para o público geral mais amplo faz parte de um esforço de contribuir com o incentivo e aperfeiçoamento à literacia científica e climática.

- **Premissas estatísticas e gráficas:** sob um olhar matemático, com base revisão e fundamentação teórica, focado em resultados práticos, em especial o uso de gráficos.

Como recursos visuais, os gráficos representam uma das formas de representação mais importantes nas ciências exatas. Associado à linguagem matemática, a representação gráfica permite a percepção e compreensão imediata, mesmo para públicos leigos. Gráficos contendo curvas e suas variações, exibem feições e variações típicas de análise nas ciências naturais e ciência climáticas, que instantaneamente são percebidas, como o aumento (tendência crescente), a redução (tendência decrescente) ou manutenção (tendência nula) de qualquer variável em estudo. Nos estudos climáticos, o uso de gráficos do gênero são, portanto, uma das ferramentas mais utilizadas para demonstrar, por exemplo, tendências de aquecimento/resfriamento da Terra, do Brasil ou qualquer outra região.

Nesse sentido, explora-se toda a rica capacidade do impacto visual dos gráficos, visto que eles permitem potencialmente oferecer incontáveis e proveitosas possibilidades, ao envolver diversos fatores, como: os elementos do clima (temperatura, precipitação, umidade etc.); variáveis associadas ao clima (nível do mar, geleiras etc.); recortes espaciais (mundo, oceanos, continentes, países etc.); recortes temporais e resoluções (diária, mensal, anual, decadal, secular, milenar, de milhões de anos etc.); bem como diferentes fontes de dados (observações diretas ou estimativas obtidas por reconstruções).

Por fim, uma vez submetidos a análises estatísticas, sobre tais gráficos é possível extrair úteis informações que incluem, basicamente, tendências lineares (aumento/redução da temperatura por século, por exemplo) bem como oscilações (variações periódicas) típicas dos principais ciclos climáticos.

- **Premissas históricas e filosóficas:** resgate da vida e obra de filósofos, cientistas, pesquisadores, seus pensamentos, descobertas e contribuições para a evolução da Ciência.

Para compreender como as ideias chegaram ao formato atual, é essencial resgatar o histórico encadeado dos fatos que conduzem à origem primordial das descobertas. Dependendo do assunto ou pensamento, às vezes a busca pela origem de algumas ideias desemboca no período do Iluminismo (séc. 18). Outros temas remetem a pensamentos que foram concebidos pelos antigos filósofos, muitos que já se destacavam antes mesmo da era comum. A apresentação de breves ensaios e resumos fortalece a concepção de aprender por meio do entendimento da construção histórica do conhecimento, analisando quais pessoas estiveram envolvidas e como as suas ideias foram evoluindo ao longo do tempo.

- **Premissas bibliográficas gerais, foco e amplitude:**

Em relação às referências consultadas, deu-se preferência na pesquisa de conteúdos escritos na língua inglesa, em virtude da elevada diversidade e quantidade de fontes disponíveis. Além disso, a tradução e adaptação de textos já publicadas em Inglês é uma forma de tornar mais acessível o correspondente conteúdo na língua portuguesa. Quanto ao foco e amplitude das pesquisas bibliográficas, procurou-se abordar uma grande quantidade de assuntos, visando apresentar uma visão mais panorâmica sobre o assunto, contudo menos profunda ou focada em determinados temas específicos. Agregando referências variadas, tal abordagem remete ao formato típico de artigos de revisões.

## OBJETIVOS

O objetivo da pesquisa foi determinar causas naturais nas variações atuais da temperatura no Brasil, alicerçado na compreensão de como o clima variou no passado, com perspectiva de propor previsões futuras. Para isto, pretendeu-se:

- Obter uma retrospectiva da evolução dos métodos e estudos do clima, bem como listar os diferentes ciclos climáticos já pesquisados e identificados na literatura;
- Apresentar um panorama geral da temperatura no Brasil em escalas recentes e passadas, realizando levantamento de séries de observações instrumentais bem como de séries de reconstruções paleoclimáticas em diferentes escalas (decadais, seculares e milenares).
- Por meio de técnicas de séries temporais e espectrais (séries de Fourier e correlatas), obter e analisar estatisticamente, por meio de espectrogramas, os principais componentes periódicos da série de temperatura representativa para o Brasil;
- Determinar as causas naturais no recente aquecimento, identificando e atribuindo as oscilações de temperatura com possíveis influências de fenômenos periódicos físicos (climáticos, oceânicos, atmosféricos e/ou astronômicos) mais importantes;
- Apresentar, com base nos ciclos climáticos identificados, modelos alternativos de projeção das temperaturas do ar no Brasil; e
- Comparar os modelos alternativos obtidos com os modelos convencionais amplamente utilizados pela abordagem típica do IPCC.



# **VOLUME 1**

**“PRINCIPAL”**





**VOLUME 1**

**PARTE I**

**ABORDAGEM HISTÓRICA, GEOLÓGICA E  
PALEOCLIMÁTICA:**

**Ciclos Climáticos Naturais**



**VOLUME 1 – PARTE I****CAPÍTULO 1****CICLOS CLIMÁTICOS:****Filosofia, História e Ciência do Clima –  
Métodos e Origens dos Estudos****1.1. RESUMO**

Este capítulo expõe uma definição precisa de ciclos climáticos e examina as múltiplas formas de medição, reconstrução e previsão das condições climáticas. Apresenta-se uma revisão histórica das origens do estudo dos ciclos climáticos. Informações sobre climas de épocas remotas são obtidas a partir do registro geológico de efeitos de processos biogeoquímicos que variam em função de fatores atmosféricos. A interpretação dos dados requer premissas, sendo uma delas especialmente crucial: o princípio do *Atualismo*, que estabelece a uniformidade das leis naturais e dos processos terrestres. Isso significa que, no passado, a relação entre o clima e outros fenômenos naturais fora similar à que opera no presente. Assim, diante da variedade de processos naturais que dependem do clima, é possível reconstruir o clima passado com a ajuda de vários tipos de testemunhos (anéis de arvores, sedimentos marinhos, núcleos de gelo, isótopos etc.). Distintas técnicas de reconstrução de paleoclimas revelam ser confiável a regularidade geral das condições climáticas no passado geológico, de tal modo que é possível inferir que o clima é um fenômeno eminentemente cíclico. O reconhecimento da natureza periódica do clima remonta ao final do século 18, graças aos estudos e ideias inovadoras de renomados cientistas: Hutton (Uniformitarismo), Agassiz (grande Era do Gelo), Penck e Brückner (múltiplos ciclos glaciais), Milankovitch (ciclos glaciais e variações orbitais) e Schwabe (ciclo solar de 11 anos). Na discussão sobre mudanças contemporâneas no clima da Terra, é essencial reconhecer as escalas espaciais e temporais, os mecanismos físicos e os tipos de variabilidade natural do clima, sobretudo se pensarmos na vastidão do Tempo Geológico.

## 1.2. INTRODUÇÃO

Atualmente, instrumentos automáticos em estações climatológicas nos solos e geotecnologias de sensoriamento remoto (satélites e radares) permitem continuamente monitorar a atmosfera, registrar as condições do tempo e obter uma quantidade jamais imaginada de dados sobre climas. Contudo, os benefícios da tecnologia moderna são recentes se for considerada toda a história humana. Antes do advento de tecnologias digitais e instrumentos de medição, registros qualitativos eram feitos com base na observação de fenômenos cujas impressões perceptivas eram mais bruscas, como, por exemplo, rios na Europa congelando de maneira não habitual devido a invernos intensos atípicos.

A Terra possui uma história de 4,5 bilhões de anos, extraordinariamente mais extensa que a do *Homo sapiens* (200 mil anos). Então como é possível saber do clima antes mesmo dos relatos humanos? Com a finalidade de rastrear as condições climáticas durante períodos em que o homem não registrava o clima – ou até mesmo nos períodos que antecedem a presença humana na Terra, ou seja, quando não havia testemunhas humanas ou instrumentais – os pesquisadores lançam mão de diversos métodos e técnicas de estimativas indiretas, denominadas de *reconstruções*.

Ao longo da história evolutiva do planeta, os processos físicos, químicos e biológicos e as mudanças impostas à Terra deixaram vestígios nos diferentes componentes ambientais. A riqueza do registro geológico assinala que a Terra é testemunha dela mesma ao registrar em si as impressões decorrentes de alterações do clima. Com base em estudos multidisciplinares, o homem consegue coletar, ler e interpretar os sinais gravados e, assim, reconstituir o clima de diferentes e longínquas escalas. As amostras ambientais coletadas são, evidentemente, chamadas de *testemunhos*: presentes nas diferentes etapas desde a formação do planeta, representam as “cicatrizes” da atuação dos processos biogeoquímicos.

De forma sintética, propõe-se responder duas questões: existiria um “estado imutável do clima”? O aquecimento global constitui uma ruptura provocada pelo homem de uma possível situação de equilíbrio?

Tendo o clima como o objeto de estudo, este capítulo está estruturado no sentido de analisar e apresentar:

- Os *conceitos* básicos sobre o Atualismo e a propriedade cíclica do clima (seção “1.3. Ciclos: conceitos”, p. 46);
- O *escopo* da área do conhecimento que lida com o clima no passado, a Paleoclimatologia, inserida nas Geociências (seção “1.4. Geociências e Paleociências”, p. 52);

- As *ferramentas* utilizadas para a obtenção de dados e geração do conhecimento sobre o clima no passado (seção “1.5. Métodos de Estudo dos Ciclos Climáticos: Determinação da Temperatura Terrestre”, p. 54); e
- A *história* do surgimento e evolução dos estudos do clima no passado (seção “1.6. História da origem dos pensamentos filosóficos, estudos paleoclimáticos e dos ciclos climáticos”, p. 64).

Além das óbvias mudanças diárias e sazonais, a variabilidade da temperatura atmosférica também está sujeita a algumas outras oscilações e ciclos pouco percebidos e conhecidos. O esforço para oferecer melhores respostas sobre o comportamento periódico do clima tem aumentado cada vez mais. O desafio de colocar observações climáticas recentes em um contexto de longo prazo tem sido impulsionado pela preocupação sobre se a tendência de aquecimento global do séc. 20 faz parte da variabilidade natural do clima ou está ligada ao aumento das descargas antrópicas de gases de efeito estufa na atmosfera.

Nos resultados de pesquisas científicas e notícias relacionadas a mudanças climáticas, as causas naturais são geralmente omitidas ou brevemente citadas e, em seguida, um volume imenso de informações é dedicado à influência humana no clima (CARNEIRO; TONIOLO, 2012a, 2012b). Notícias com previsões exageradas e alarmistas sobre climas futuros induzem a um medo descabido nas pessoas, podendo provocar ansiedade e até mesmo distúrbios psicológicos (OLIVEIRA et al., 2016). Previsões apocalípticas sobre efeitos antrópicos no clima lançam o desafio de se entender as causas da mudança climática.

Seria a atividade antrópica realmente capaz de suplantar e impor novos patamares à variabilidade natural do clima da Terra? A resposta requer informações menos dramáticas e mais ponderadas sobre mudança climática. Pelo o que se apresenta neste capítulo, existem argumentos vigorosos para uma reflexão crítica e sensata na análise e discussão das causas naturais e antropogênicas das mudanças climáticas<sup>24</sup>. Somente por meio da compreensão da verdadeira natureza das flutuações climáticas será possível chegar a uma conclusão sobre qual proporção do aquecimento global atual é devido a causas antropogênicas e naturais.

O intuito do capítulo é oferecer informações precursoras de uma nova perspectiva sobre o clima e suas mudanças, ressaltando os testemunhos e as técnicas de reconstrução do

---

<sup>24</sup> Para os interessados em se aprofundar nas polêmicas das mudanças climáticas, recomenda-se, como leitura complementar, as publicações acadêmicas (teses e dissertações) de Onça (2007), Oliveira (2010) e Onça (2011), além dos livros de Baptista (2009), Maruyama (2009) e Lino (2010) e Molion (2014).

clima, bem como resgatando a evolução dos estudos dos ciclos climáticos, geralmente pouco difundidos.

### 1.3. CICLOS: CONCEITOS

Um *ciclo* pode ser definido como uma única execução completa de uma sequência de eventos ou fenômenos que se repetem após intervalos de tempo bastante regulares<sup>25</sup>. O *período* corresponde ao tempo necessário para um ciclo completar. Consequentemente, os ciclos<sup>26</sup> podem ser assumidos como uma sequência de eventos periodicamente repetidos, recorrentes.

No movimento de um pêndulo em um relógio, um ciclo possui um período de dois segundos: o pêndulo iniciando na posição esquerda, por exemplo, gasta um segundo no balanço para a direita e mais um segundo para retornar ao lado esquerdo, concluindo, em dois segundos, o ciclo em sua posição original.

A causa dos ciclos é geralmente alguma força de restauração que surge sempre que qualquer sistema tem seu equilíbrio perturbado. Assim, no desenvolvimento de ciclos que perduram indefinidamente, ocorrem flutuações periódicas em torno de uma média constante – como a posição vertical do pêndulo – ou em torno de uma linha de tendência em uma série temporal de dados observados durante um período prolongado, tipicamente mais do que um ano, em estudos do clima.

#### 1.3.1. Ciclos, Tempos e Clima

Ao longo da história, eventos e movimentos repetitivos serviram como padrões para as unidades de tempo. Exemplos incluem o movimento aparente do Sol no céu, as fases da Lua e o balanço de um pêndulo.

O *tempo cronológico* é, em sua essência, baseado em eventos periódicos naturais perceptíveis ao ser humano. Um *dia* corresponde ao período de rotação da Terra em torno de seu próprio eixo (*ciclo diário* de rotação terrestre); um *ano* é o período da órbita da Terra em torno do Sol (*ciclo anual* de translação terrestre)<sup>27</sup>. A unidade internacional do tempo, o *segundo*,

<sup>25</sup> Em certos casos, os ciclos representam fenômenos denominados *quasi-periódicos*, que ocorrem habitualmente, porém, que não apresentam necessariamente uma regularidade (ou período) constante.

<sup>26</sup> Como sinônimos ao termo *ciclos*, diferentes termos podem ser utilizados: *eventos cíclicos, periódicos, recorrentes* ou *repetitivos, pulsos, pulsações, flutuações, oscilações, repetições e ritmos; ciclicidade, periodicidade, repetitividade, ritmicidade e recorrência*, entre outros derivados. Ressalta-se que prevalece o uso dos termos *ciclos, ciclicidade e periodicidade*.

<sup>27</sup> Além do *dia* e do *ano*, usados como as principais unidades de tempo, cabe destacar a origem dos *meses* e das *semanas*. Desde os primórdios, a marcação do tempo baseava-se na óbvia alternância entre dia e noite e na quase tão óbvia distinção entre a lua cheia e a lua nova. O ano e o dia vêm

sempre teve sua definição relacionada a ciclos. No passado, o segundo foi definido em termos de uma fração diária como  $1/86.400$  de um dia solar médio ( $86.400 = 24 \text{ horas} \times 60 \text{ minutos} \times 60 \text{ segundos}$ ). Atualmente, definido mais precisamente em termos atômicos, um segundo equivale ao período de 9.192.631.770 ciclos de radiação correspondentes às transições do átomo de césio 133.

O *tempo meteorológico*, por sua vez, é o estado da atmosfera em um dado instante e local ou, em outras palavras, representa as condições atmosféricas combinadas às dimensões temporais e espaciais. Cada instante está atrelado ao minuto, hora, dia, mês e ano e, em última instância, depende dos ciclos de translação e rotação da Terra, intrinsecamente conectados ao tempo cronológico. Por exemplo, o tempo meteorológico, no período diurno, apresenta temperaturas mais elevadas do que as do período noturno. O componente local – em termos de altitude, latitude e longitude – impõe condições determinantes quanto à pressão atmosférica e à quantidade de radiação recebida a partir do Sol. Assim, regiões altas como os topos de montanhas são mais frias que regiões ao nível do mar, onde a coluna de ar e a pressão são maiores. Da mesma forma, regiões de altas latitudes (mais próximas dos polos) são mais frias do que regiões de baixa latitude (mais próximas do equador), onde há maior incidência de radiação solar. Por fim, as condições atmosféricas podem ser traduzidas em termos dos *elementos atmosféricos* (temperatura, umidade do ar, pressão atmosférica, ventos, nebulosidade e precipitações como chuva, neve e granizo), gerando tempos quentes/frios, secos/úmidos, ensolarados/nublados/chuvosos etc. Cabe citar ainda os fatores modificadores (geográficos,

---

dos movimentos da Terra (revolução e rotação, respectivamente). O mês é originado pelo período de lunação: ele é baseado no movimento da Lua ao redor da Terra, cujo período natural de 29,5 dias é conhecido como *mês lunar*. A semana também tem origem astronômica, embora menos direta que as outras três unidades (dia, ano e mês) de medida de tempo. Em virtude das quatro fases da Lua, poderia-se intuitivamente induzir imaginar (equivocadamente) que o conceito original da semana (7 dias) estaria ligado à divisão do mês nessas fases lunares. De fato, são necessários cerca de sete dias para a Lua ir de uma fase a outra, e parece que isso transforma o período de sete dias em algo que merece ser contabilizado. Uma unidade de tempo composta por sete dias consecutivos era, ainda na Antiguidade, quase universal. Além disso, eram conhecidos sete objetos celestes que mudavam de posição em relação às estrelas (os planetas conhecidos/visíveis a olho nú na época: Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter e Saturno, além do Sol e da Lua). Em homenagem a tais objetos, os babilônios foram os primeiros a nomear os dias deste curto período lunar (entre uma fase e outra). Esta prática foi adotada pelos romanos e por outros povos europeus influenciados por eles (CHERMAN, VIERA, 2005). No livro “The Week” (“A semana”) de Henkin (2021), o autor argumenta que, na concepção da sociedade moderna, as semanas não seriam ditadas pela ordem natural. Eles são, na verdade, uma construção artificial do mundo hodierno, como um princípio organizacional dominante da sociedade atual. Diferentemente de dias, meses e anos, que ao menos registram ou fazem alusão a algum tipo de processo natural, a semana é um produto completo da história humana. Voltando aos primórdios da civilização ocidental, foi no contexto do Império Romano que um calendário semanal padronizado surgiu de uma combinação e fusão de contagens de sábados judaicos e ciclos planetários babilônios. Naquela época, as semanas divididas em sete dias ditaram o ritmo da cronometragem astrológica, proeminente na Roma imperial, que identificava os dias com os sete corpos celestes observáveis da Terra (conforme a precedente concepção babilônica). Já na sociedade moderna pós revolução industrial, a semana assumiu um caráter especialmente relacionado com as jornadas de trabalho vigentes. Assim, a semana começou a representar uma espécie de ilusão sustentada por um contrato social intrinsecamente capitalista. Até o século 19, o padrão da maior parte das sociedades era de seis dias de trabalho e um dia de descanso – uma ideia advinda do Sabá judaico, o qual admitia que Deus teria criado o mundo em seis dias e descansado no sétimo. Somente em 1843 que surgiu, na Inglaterra, a ideia de dois dias de descanso por semana, após reivindicações feitas pelo sindicalista Robert Lowe. A articulação política de Lowe motivou trabalhadores de outros países a tentar reduzir as horas de trabalho e ampliar as horas de lazer. Assim, a semana composta por um dia de descanso e seis dias de trabalho (com jornadas de 12 horas) vigorou até 1908 nos EUA e até 1932 no Brasil. Aqui, o ex-presidente Getúlio Vargas assinou uma lei que instituiu a semana de cinco dias de trabalho, com jornadas de oito horas (DRESSER, 2021; GAGLIONI, 2021).

topológicos, biológicos e culturais) que atuam sobre os elementos atmosféricos e criam variações locais no tempo meteorológico.

É importante definir e distinguir o *tempo meteorológico* do *clima*. Embora ambos constituam-se de combinações realizadas por certos valores dos elementos atmosféricos, a diferenciação está na escala adotada para as dimensões espaciais e temporais. O *tempo meteorológico* é caracterizado por um estado instantâneo e efêmero das condições atmosféricas, ou seja, a escala da abordagem temporal é relativamente curta, geralmente na ordem de horas ou dias, podendo se estender, em alguns casos, até a escala semanal. A escala espacial também é reduzida, normalmente restrita a um bairro, cidade ou pequena região. O *clima* pode ser interpretado, simplificadamente, como a média de longo prazo do tempo meteorológico, ou seja, o clima constitui-se em um conjunto de tendências duradouras, oriundas de combinações permanentes, analisadas e estudadas ao longo de um dado período, a exemplo do que expressam as *normais climatológicas*, que consideram períodos de 30 anos de dados. As escalas temporais do clima partem das escalas sazonais (estações do ano: primavera, verão, outono e inverno), passam pelas escalas mensais, anuais, decadais, seculares, milenares e remontam até milhões e bilhões de anos. Na dimensão temporal do clima, pode-se dizer, por exemplo, de uma temperatura média de um ou mais meses, de um ou mais invernos, de um ou mais anos, de décadas, séculos, milênios e assim sucessivamente; na dimensão espacial, podem ser consideradas as escalas locais (bairro, cidade), regionais (grupos de cidades e estado), nacionais, continentais e global.

Seja no nível astronômico (*macro*) ou no nível atômico (*micro*), o tempo cronológico, o tempo meteorológico e o clima estão, portanto, fundamentalmente atrelados a fenômenos cíclicos da natureza. Em determinadas escalas, os sentidos humanos proporcionam percepções nítidas como as alternâncias de dia e noite (relacionadas à rotação da Terra) e aos extremos frios e quentes das épocas de inverno e verão (relacionados à inclinação do eixo da Terra). Contudo, em escalas extremamente pequenas ou grandes, a limitação sensorial humana não permite observação direta de diversos outros ciclos da natureza, seja por questão temporal (determinado fenômeno que ocorre muito rapidamente ou que demora milhares ou milhões de vezes o tempo de uma vida humana) ou também espacial [algo que é muito pequeno (átomo) ou muito grande (sistema solar)], ambas escalas que são invisíveis e/ou imperceptíveis ao olho nu em sua plenitude. Com o desenvolvimento de inúmeras técnicas e uso de instrumentos específicos, amplificadores das capacidades humanas de observação e compreensão da natureza e de seus complexos processos, a Ciência tem possibilitado enxergar bastante além do sistema solar e dos átomos, desvendando incontáveis estrelas, constelações e galáxias, bem como minúsculas partículas subatômicas. Enfim, a partir da crescente compreensão da natureza, o homem vem percebendo cada vez mais que ela está repleta de ciclos.



### 1.3.2. Ciclos, Uniformitarismo e Atualismo

Ao definir a Geologia como ciência histórica da natureza, Potapova (1968, 2008) propôs que a Geologia produz o conhecimento geológico, ao levar adiante a missão de realizar o estudo da história do planeta como um todo:

A autora caracterizou o intercâmbio de conceitos e explicações de modo sistêmico entre Geologia e as demais ciências que estudam a Terra em suas partes e sobretudo definem as leis naturais válidas para os fenômenos do presente (Física, Química etc.). Essa abrangente descrição constitui a base conceitual da ciência geológica exposta em alguns livros de Geociências: o estudo dos fluxos e balanços de energia e matéria responsáveis pelas transformações terrestres, a descrição e caracterização das esferas materiais da Terra e seu funcionamento no presente (sobretudo atmosfera e hidrosfera) para, depois, servir de fundamento para explicar a história do planeta inteiro (caracterizado pelas esferas rochosas, crosta, manto e núcleo e pelo contexto astronômico). Ao se introduzir a Escala do Tempo Geológico, completa-se o conceito denominado por Potapova (2008) *processo histórico-geológico* (CARNEIRO; GONÇALVES, 2013. Grifos do original).

A disponibilidade de dados do passado permite estudar minuciosamente a história da Terra, constatar as incontáveis variações do clima e compreender as diversas causas possíveis. Do ponto de vista climático, o princípio do *Uniformitarismo* – formulado inicialmente em 1785 por James Hutton [1726–1797], considerado o pai da Geologia Moderna – pode ser interpretado além da constatação de que “o presente é a chave do passado” (GEIKIE, 1962). Ampliando o conceito e considerando a famosa frase do filósofo escocês David Hume [1711–1776], que em 1777 disse que “todas as inferências a partir da experiência supõem que o futuro assemelhar-se-á ao passado”, o estudo dos processos do passado e do presente é, inclusive, a chave para o futuro. Tal generalização, radical, feita por *Sir* Archibald Geikie, despertou polêmica em um nível que nem mesmo Lyell ou Hutton teriam ousado (CARNEIRO et al., 1994). Recuperando as diversas visões que integram a concepção de Uniformitarismo, Gould (1965, 1967) distingue dois tipos de Uniformitarismo: *Metodológico* e *Substantivo*. O *Uniformitarismo Metodológico*, conhecido como *Atualismo* (GOULD, 1967) é geralmente aceito, pois reúne dois pressupostos metodológicos: a uniformidade das leis naturais e uniformidade dos processos terrestres. O *Uniformitarismo Substantivo* não se sustenta, porque contempla, além dos pressupostos acima, outras duas proposições acerca do mundo: o *gradualismo* e o *não-direcionalismo* dos processos terrestres. Ambas as concepções implicam uma uniformidade de velocidades dos fenômenos na Terra e uma uniformidade de condições que nunca foram comprovadas (CARNEIRO et al., 1994).

A uniformidade dos processos somente é possível devido à existência da *ciclicidade* dos fenômenos, ou seja, padrões de eventos periódicos ou uniformemente distribuídos dentro de certo intervalo temporal. Assim, sabendo-se da ocorrência de determinado evento no passado e conhecendo-se as características de período/frequência dos ciclos bem como dos mecanismos geradores, é possível entender o presente e, até mesmo, prever situações e acontecimentos futuros.

### 1.3.3. Ciclos Naturais

Durante muito tempo, a noção de *aleatoriedade* foi um dogma central nas Geociências. Recentemente, no entanto, as constatações de que “Tudo na Terra funciona de forma cíclica” e que “O universo é regular e previsível” foram incluídas em uma lista dos vinte grandes pensamentos das Ciências (CULOTTA, 1991). O conceito de *ciclicidade* no sistema terrestre possui uma longa tradição que remonta ao final do séc. 18. Com sua teoria do Uniformitarismo simplificada na afirmação “o presente é a chave do passado”, James Hutton foi pioneiro ao conceber que vários processos terrestres operam ciclicamente. Umbgrove (1947), em seu livro “Pulso da Terra”, relatou evidências notáveis de regularidade nos padrões do clima, mudanças no nível do mar, episódios tectônicos e vulcânicos, bem como percebeu claras divisões naturais na coluna estratigráfica<sup>28</sup> durante da história evolutiva da Terra. A **Figura 1** ilustra a existência de variações cíclicas registradas na forma de diferentes camadas rochosas.



**Figura 1** – Corte vertical no Parque do Varvito, em Itu (SP), expõe sucessivas camadas de rochas, formadas a partir de níveis alternados de sedimentos argilosos pretos e sedimentos síltico-argilosos de cor cinza claro, ilustrando com precisão a existência de variações rítmicas no registro geológico. Sobre o Varvito de Itu, consultar Rocha-Campos (2002). Foto: CDR Carneiro.

---

<sup>28</sup> A *Estratigrafia* é o ramo da Geologia que estuda as camadas de rochas (estratos) e a *Ciclostratigrafia* é o estudo dos ciclos climáticos, forçados astronômicamente, que são observados em sucessões sedimentares.

A Terra está repleta de *ciclos naturais*<sup>29</sup> biogeoquímicos que operam nos oceanos, na litosfera e na atmosfera. Na reciclagem de materiais e nutrientes, são amplamente conhecidos os ciclos presentes em todas as esferas ambientais (litosfera, hidrosfera, atmosfera e biosfera): ciclos do oxigênio, carbono<sup>30</sup>, nitrogênio, fósforo, enxofre; ciclo hidrológico; ciclo das rochas<sup>31</sup>, e até mesmo os ciclos de vida dos inúmeros seres vivos.

#### 1.3.4. Ciclos Climáticos

Além dos ciclos de materiais, os fluxos de energia também são parte fundamental do sistema planetário, visto que representam a energia motriz e propulsora da ciclagem material. No passado remoto da Terra, fontes internas vulcânicas representaram a principal fonte de energia emanada à atmosfera<sup>32</sup>. Atualmente, o Sol é a principal fonte de energia que movimenta direta e indiretamente os ciclos biogeoquímicos acima da litosfera.

Em termos climáticos, a temperatura é o indicador mais utilizado pelo fato de ser um elemento do clima facilmente obtido, seja por medição direta ou por reconstrução (estimativas indiretas), e também por ter o atributo de sintetizar o balanço de energia terrestre. A temperatura – seja do ar, dos oceanos ou de outros compartimentos – é fundamental, portanto, nos estudos de mudanças no clima e será adotada como o indicador de enfoque deste capítulo.

Nos estudos de clima, são considerados os seguintes elementos climáticos: temperatura do ar; umidade do ar; pressão atmosférica; ventos predominantes (sentido e velocidade); nebulosidade; e precipitações (chuva, neve e granizo).

Para a o entendimento dos fenômenos climáticos, é importante definir e diferenciar o tempo e o clima. Ambos constituem as combinações realizadas por certos valores dos elementos climáticos. Essas combinações são denominadas de estado da atmosfera.

- *Tempo*: é caracterizado por um estado instantâneo e efêmero das condições atmosféricas.

---

<sup>29</sup> Azevedo (2021) didaticamente apresenta, em sua monumental obra *“Ciclos Naturais: como a natureza opera a evolução”*, um amplo e explicativo levantamento acerca dos diversos ciclos e dinâmicas envolvendo o Universo, o Sistema Solar, a Terra e suas esferas ambientais (atmosfera, hidrosfera, geosfera, magnetosfera e biosfera).

<sup>30</sup> Toniolo e Carneiro (2010) abordam os processos geológicos de movimentação/fixação de carbono na Terra e o aquecimento global.

<sup>31</sup> Consultar: Carneiro et al. (2009); e Carneiro, Lopes e Gonçalves (2012).

<sup>32</sup> Em escalas de dezenas de milhões de anos, a energia interna da Terra influencia na tectônica de placas, no tamanho e localização dos continentes bem como na ocorrência de atividades vulcânicas associadas às movimentações das placas.

- *Clima*: é caracterizado por um conjunto de tendências duradouras, oriundas de combinações permanentes, analisadas e estudadas ao longo de um dado período, a exemplo do que expressam as normais climatológicas, que consideram períodos de 30 anos de dados.

Portanto, o clima pode ser entendido como um conjunto de elementos estudados por meio de registros meteorológicos ao longo de muitos anos, enquanto que o conceito de tempo pode ser visto como a experiência atual, momentânea, ou seja, que expressa os estados atmosféricos observados em um determinado instante na atmosfera (CUNHA; VECCHIA, 2007).

#### 1.4. GEOCIÊNCIAS E PALEOCIÊNCIAS

Entende-se *Paleociências*<sup>33</sup> como o plural de todas as disciplinas científicas que lidam com referências históricas, incluindo temas relacionados com o passado nos campos da Arqueologia e Geologia, como a Paleontologia, Paleoantropologia, Paleobiogeografia, Paleoecologia, Paleohidrologia, Paleoclimatologia, dentre outros ramos das Ciências Naturais que focam na reconstrução e modelagem dos eventos passados, ao invés da observação direta e realização de experiências.

Uma vez que as Paleociências não lidam com observações diretas dos fenômenos que ocorreram no passado não observável, mas sim com os seus efeitos, elas são muitas vezes referidas como Ciências Históricas. Esse aspecto a diferencia das Ciências Empíricas<sup>34</sup>, que dependem fundamentalmente da possibilidade de realizar um experimento várias vezes. Como não é possível viajar de volta no tempo e observar diretamente os fenômenos do passado, as Paleociências são dependentes de hipóteses que são, em princípio, não absolutamente verificáveis, mas que explicam as evidências ao postular uma causa comum a elas.

Assim, comparados a cientistas empíricos como os químicos e físicos, os paleocientistas ficam em desvantagem na análise das evidências disponíveis. Primeiro, os vestígios imperfeitamente preservados de objetos e eventos passados são o primeiro desafio observacional, pois, tais registros do passado podem ser completamente destruídos e, assim, tornam-se para sempre inacessíveis para a observação. Segundo, os físicos e os químicos rotineiramente realizam seus experimentos sistematicamente variando as causas e observando os efeitos resultantes. Entretanto, os paleocientistas frequentemente investigam causas que operam muito lentamente para seus efeitos se tornarem perceptíveis à observação contemporânea. O surgimento e o

---

<sup>33</sup> O prefixo *paleo*, do latim, significa “muito antigo, pré-histórico”; e *palaios*, do grego, significa “antigo”.

<sup>34</sup> Cleland (2002) aborda as diferenças entre Ciências Históricas e as Ciências Empíricas.

aparecimento de montanhas e a Tectônica de Placas, por exemplo, são fenômenos que ocorrem ao longo de milhões de anos. Assim, processos causais que agem tão vagarosamente que não se “encaixam” na escala temporal humana, obviamente não podem ser investigados experimentalmente.

Ainda assim, muitos cientistas estudam fenômenos nos quais eles não conseguem conduzir experimentos. Teorias causais admiráveis foram produzidas, como a mecânica Newtoniana, a teoria da relatividade e a teoria da evolução de Darwin. Charles Lyell habilmente adaptou a metodologia estabelecida nas ciências experimentais para lidar com o passado, utilizando-se do método *vera causa* (ou “causa verdadeira”) inicialmente articulado por Newton em suas famosas *Regras de Raciocínio em Filosofia* contidas no Volume 3 de sua obra “Princípios Matemáticos da Filosofia Natural” publicada nas edições de 1713 e 1726. Com a adaptação ao contexto da geologia, Lyell propôs que as evidências da existência de causas passadas devem ser obtidas por meio da observação dos efeitos dessas causas agindo no presente (RACHEL, 1992).

#### 1.4.1. Paleoclimatologia

A capacidade de decifrar climas passados tem se expandido nos últimos anos, com uma melhor compreensão dos atuais processos climáticos e o desenvolvimento de ferramentas de análise mais sofisticadas. Registros instrumentais possuem dados de apenas um ou dois séculos atrás. Para estender o registro para além do período instrumental, os cientistas utilizam de indicadores que permitem medir indiretamente os climas passados ou ambientes preservados em arquivos naturais, tais como sedimentos marinhos e terrestres, árvores e núcleos de gelo, entre outros.

Como um ramo da Paleociências, a *Paleoclimatologia*<sup>35</sup> – definida como o estudo dos climas durante qualquer parte do passado geológico – especificamente trata dos estados do clima em épocas anteriores ao período de registros instrumentais modernos. Para explicar as causas de mudanças climáticas cujas condições não foram registradas por instrumentos modernos, são utilizados dados de testemunhos, aliados ao emprego de modelos de computador, para reconstruir os climas do passado. Assim, o estudo do paleoclima ajuda a entender os controles das mudanças climáticas e, logo, como o sistema climático funciona (MOCK, 2006).

O estudo dos climas passados ajuda na compreensão da mudança climática ao apresentar uma perspectiva melhor do que a fornecida pelos registros instrumentais, tanto em termos das causas e dos efeitos das mudanças climáticas quanto das magnitudes de variações espaciais e

---

<sup>35</sup> Como obras de referência, indica-se os trabalhos de Bradley (1999), Elias (2006) e Gornitz (2009).

temporais. Ao fornecer longos registros do clima e sua variabilidade natural, permite-se uma compreensão mais clara sobre o delineamento da variabilidade natural e possíveis influências antropogênicas.

#### 1.4.1.1. Paleotemperatura

A temperatura da Terra não é estável; ela é governada por muitos processos internos e externos que operam em diferentes escalas espaciais e temporais. Mudanças na produção de energia pelo Sol, na distribuição sazonal e geográfica de insolação devido a mudanças na configuração orbital da Terra (inclinação axial, precessão e excentricidade orbital), nas características físicas (poeira soprada pelo vento, emissões vulcânicas) e características químicas da atmosfera (concentrações de gases radiativamente ativos), bem como processos tectônicos que alteram a distribuição continental e circulação oceânica, todos influenciam a temperatura.

Registros históricos e instrumentais de temperatura são demasiadamente curtos para entender esses e outros complexos padrões de variabilidade da temperatura da Terra em diferentes escalas de tempo, ou para servir como uma linha de base para avaliar tendências atuais da temperatura global e supostas influências humana no clima. Portanto, um dos temas mais ativamente pesquisadas em Paleoclimatologia é a reconstrução e interpretação das temperaturas atmosféricas e oceânicas passadas, ou *Paleotemperatura*.

### 1.5. MÉTODOS DE ESTUDO DOS CICLOS CLIMÁTICOS: DETERMINAÇÃO DA TEMPERATURA TERRESTRE

A temperatura na Terra pode ser referente à temperatura próxima à superfície (esta comumente denominada de *temperatura do ar na superfície terrestre*) tanto sob os continentes quanto sob os oceanos; pode se referir à temperatura nos fundos de oceanos ou no fundo de sondagens profundas (*deep drillings*) na superfície terrestre; ou ainda pode denotar a temperatura da troposfera (camadas superiores). A temperatura terrestre pode ser determinada ou estimada de acordo com a escala temporal de abordagem adotada. Basicamente, as mudanças climáticas podem ser divididas em três categorias temporais de análise – passado, presente (passado recente) e futuro – as quais possuem diferentes fontes de dados:

- *Presente (passado recente)*: medições instrumentais diretas, com base em estações nos continentes ou nos oceanos, satélites e radiossondas;

- *Passado*: reconstruções por meio do resgate de informações em documentação histórica ou pela determinação indireta utilizando análises de testemunhos e técnicas de datação; e
- *Futuro*: estimativas, previsões e projeções com base em modelos matemáticos e possíveis cenários.

### **1.5.1. Medições Recentes da Temperatura do Ar**

Os valores da temperatura do ar podem ser mensurados, de um modo geral, por três diferentes métodos de medição: observações de superfície, observações de satélite e observações por radiossondas. As medições realizadas por satélite não representam a temperatura do ar na superfície terrestre, mas sim a temperatura radiométrica ou temperatura radiante aparente, obtida pela detecção das ondas emitidas pelas superfícies radiantes. Ou seja, com as radiâncias medidas em várias bandas de comprimento de onda são feitas correlações que permitem realizar inferências indiretas da temperatura do ar. Já as radiossondas de fato medem a temperatura do ar, porém, é traçado um perfil vertical de acordo com a ascensão do balão na atmosfera.

As medições de superfície, por sua vez, são divididas em dois tipos: em superfície terrestre, tendo os sensores de temperatura dispostos em abrigos; em superfície marinha, em que são realizadas medições em navios ou por meio de boias, fixas ou móveis. Na superfície terrestre, os registros da temperatura do ar podem ser realizados em estações climatológicas clássicas, utilizando-se de termógrafos, termômetros de mercúrio, termômetros de máximas e mínimas; ou em estações climatológicas automáticas, nas quais são utilizados sensores elétricos de temperatura e sistemas de aquisição/ armazenamento de dados.

### **1.5.2. Reconstruções do Clima no Passado**

Qualquer tentativa de estabelecer e identificar mudanças climáticas no passado deve utilizar informações históricas. Uma primeira modalidade consiste no estudo dos registros com base em documentos históricos, a qual possui o inconveniente de fornecer impressões subjetivas tanto pela pessoa que relatou o fato quanto pela pessoa que vir a interpretar esse relato. Os casos de séries históricas longas são raros, logo, os relatos históricos são pontuais e qualitativos, geralmente enfatizando informações de condições incomuns que provocaram, na percepção das pessoas na época, algum impacto significativo. Consequentemente, tais registros transmitem poucas informações das condições normais, ao contrário, fornecem mais informações das condições anormais. Além disso, os relatos não permitem identificar se as condições excepcionais

foram resultado de oscilações da variabilidade natural do clima ou de alguma mudança climática expressiva.

Indicadores quantitativos e representativos de paleoclimas têm o potencial de fornecer evidências para mudanças climáticas de grande escala antes da existência de registros documentais instrumentais ou históricos generalizados. Para superar as limitações dos relatos humanos, uma segunda modalidade de técnicas indiretas com uso de *testemunhos* (do inglês *proxy*, “representante”, “substituto”) – baseados essencialmente em informações biológicas, geológicas ou geofísicas – possibilitam, com maior confiabilidade, reconstruir e obter estimativas bastante próximas das condições climáticas reais ocorridas no passado, inclusive aquelas precedentes aos alguns milhares de anos da história humana. Essa segunda modalidade fornece indicadores de clima mais seguros e temporalmente abrangentes.

Com base na análise de uma infinidade de arquivos biológicos, geológicos e geofísicos, os principais métodos de reconstrução da Paleoclimatologia utilizam: (a) seres vivos que apresentam estratificação anual, como anéis de árvores (*Dendroclimatologia*) e corais (*Esclerocronologia*); pólen (*Palinologia*); (b) evidências geomorfológicas superficiais, como mudanças do nível dos mares, formação e movimentação de solos, assinaturas de geleiras; estratigrafia convencional que não utiliza isótopos, como deposição de sedimentos físicos (*ritmitos* e *varvitos*<sup>36</sup>) e sedimentos biológicos (pólen, esporos, fósseis, conchas) em lagos e oceanos; (c) métodos baseados nas variações da composição de isótopos (SALTZMAN, 2002). Ressalta-se que a taxa de deposição ou de crescimento do material nos testemunhos é influenciada pelas condições climáticas no momento em que os materiais cresceram ou foram estabelecidos.

Cada vez mais utilizados nos estudos sobre o clima, os *isótopos*<sup>37</sup> permitem a determinação indireta das condições climáticas, especialmente a temperatura. Isótopos estáveis e radioativos são utilizados tanto no monitoramento de fluxos em processos quanto na datação radiométrica de eventos – esta baseada no decaimento dos isótopos radioativos. Os principais isótopos usados na pesquisa do clima são: hidrogênio ( $^1\text{H}$ ,  $^2\text{H}$  – *deutério*,  $^3\text{H}$  – *trítio*), oxigênio ( $^{16}\text{O}$ ,  $^{17}\text{O}$ ,  $^{18}\text{O}$ ), carbono ( $^{12}\text{C}$ ,  $^{13}\text{C}$ ,  $^{14}\text{C}$  – *radiocarbono*) e radônio ( $^{222}\text{Rn}$ ) (MCGUFFIE; HENDERSON-SELLERS, 2005).

---

<sup>36</sup> *Ritmitos* são rochas sedimentares que apresentam estratificação plano-paralela, que se deve a uma alternância de dois tipos litológicos diferentes, formando estratos semelhantes e repetitivos. O *varvito* é um ritmo constituído por sucessão regular de pares de rochas que incluem uma camada/lâmina inferior mais clara, em cima de uma lâmina mais escura. O nome *varvito*, cunhado a partir de *varve* (do sueco, *varv*: repetição periódica de camadas) e o sufixo *ito*. No seu sentido original, *varve* corresponde a um par de tipos litológicos contrastantes, sendo a camada inferior siltica e clara, e a camada superior argilosa e escura (rica em matéria orgânica), depositadas no verão e inverno de um mesmo ano, respectivamente (Rocha-Campos 2002).

<sup>37</sup> Os isótopos são átomos, de um mesmo elemento químico, que possuem a mesma quantidade de prótons, mas quantidade diferente de nêutrons.



### 1.5.2.1. Climatologia Histórica

A *Climatologia Histórica* é o ramo da Climatologia que usa documentos escritos para investigar o clima do passado. Esses registros podem incluir tanto os registros climáticos instrumentais ou não instrumentais. Para fins paleoclimatológicos, fontes documentais históricas são mais adequadamente definidas como registros meteorológicos anteriores ao estabelecimento de redes meteorológicas oficiais.

Redes de observações modernas usam métodos e instrumentos de observação padronizados para registrar e medir as variáveis meteorológicas em níveis definidos de precisão e exatidão. As primeiras redes organizadas datam do final do séc. 18, mas somente a partir de 1873 os serviços meteorológicos internacionais estabeleceram esforços sistemáticos de padronização de procedimentos e instrumentos. Logo, os dados históricos são propensos a proceder de métodos não padronizados de exposição e calibração de instrumentos, de práticas de observação e definições de termos altamente variáveis. Nesse sentido, a sensibilidade do observador a vários fenômenos climáticos varia entre as pessoas e dentro do tempo de vida de um único indivíduo. Por exemplo, a definição de “geada” é altamente variável, uma vez que o termo pode ser baseado em fatores individuais de percepção bastante diversos. O mesmo é verdadeiro para a contagem de dias com chuva e neve, entre outras situações sujeitas a subjetividades (CHENOWETH, 2006).

Por um lado, apesar dos obstáculos inerentes à percepção individual dos fenômenos por diferentes observadores, os documentos históricos proporcionam, por outro lado, inigualável resolução subanual. Enquanto outros registros de testemunhos paleoclimáticos podem fornecer dados que se estendem a milhões de anos no passado, alguns documentos possuem resolução temporal sub-horária e diária, escalas de tempo que simplesmente não estão disponíveis em qualquer outro tipo de testemunho.

O principal desafio para a reconstrução do clima reside, contudo, na disponibilidade de fontes escritas. Os registros escritos são mais abundantes durante o último milênio, embora alguns registros fragmentários em partes da região do Mediterrâneo, Oriente Médio e China tenham mais de 2.000 anos de idade. A China detém, provavelmente, a maior coleção de documentos escritos com informações sobre o clima, mas mesmo estes registros contêm lacunas significativas (CHENOWETH, 2006).

Qualquer registro escrito pode fornecer, direta ou indiretamente, informações sobre o tempo. Crônicas de igrejas, registros paroquiais, pesquisas do governo e outras contabilidades oficiais, registros de imóveis e fazendas, registros de rendimento das culturas e épocas de colheita,

registros fenológicos<sup>38</sup>, diários e revistas (incluindo aquelas especificamente dedicadas ao clima), registros de observatórios astronômicos, almanaques, livros, relatos de viagens e explorações, jornais, documentos legais, registros de portos, registros de protestos de navios (documentos legais absolvendo um capitão de navio a partir de danos sofridos em uma viagem devido às condições meteorológicas ou acidente) e diários de bordo dos navios são exemplos de fontes de dados climáticos históricos. Na Europa, os registros eclesiásticos das igrejas cristãs são a principal fonte de registros do clima nos últimos 2 milênios. Diários pessoais, incluindo os de expedições de exploração, estão entre as mais importantes fontes de tempo, particularmente para os últimos 300 a 500 anos (CHENOWETH, 2006).

Registros escritos documentados que fornecem informações sobre o clima do passado são extremamente abundantes, mas residem em grande parte na forma não digitalizada em milhares de locais em todo o mundo. Uma das tarefas mais importantes para os climatologistas históricos, portanto, é verificar os locais de tais registros. Dada a grande variedade de fontes de dados históricos do tempo, todos os arquivos, bibliotecas, museus e outros repositórios de documentos devem ser considerados como locais que potencialmente contêm dados climáticos valiosos. Desse modo, para lidar com o grande volume de registros potenciais, torna-se essencial a cooperação interdisciplinar entre climatologistas, historiadores, bibliotecários e arquivistas para a investigação científica pela Climatologia Histórica (CHENOWETH, 2006).

### 1.5.2.2. Testemunhos

Compreender a dinâmica do clima do passado requer primeiramente reconstruir a história do clima. A reconstrução é, portanto, o principal objetivo dos paleoclimatologistas. Para isso, em primeiro lugar, a evidência de condições passadas é acumulada e, em lugar segundo, a evidência é interpretada. As evidências incluem vestígios (geológicos, químicos e biológicos) de eventos passados que são influenciados pelo clima, como: o crescimento de árvores e mudanças regionais da vegetação; o acúmulo de certos elementos e isótopos dentro de geleiras, sedimentos, restos fósseis de organismos; ou a deposição de sedimentos em morenas glaciais, lagos e oceanos. As interpretações variam entre inferências qualitativas simples e estimativas quantitativas elegantes, incluindo simulações de processos baseados em computador. Todas as abordagens para a reconstrução paleoclimática dependem da compreensão da relação entre o clima e a fonte de evidências.

As evidências de mudanças climáticas do passado provêm de muitas fontes diferentes. Essas fontes geralmente podem ser divididas em classes com base nos tipos de fenômenos

---

<sup>38</sup> *Registros fenológicos* descrevem eventos periódicos de plantas e animais conforme influências por variações sazonais e interanuais no clima, como a migração das aves e a floração e frutificação de plantas. A *Fenologia* é o ramo da Ecologia que estuda tais fenômenos periódicos.

envolvidos (biológicos, geomorfológicos, geoquímicos, geofísicos) ou e de acordo com a resolução temporal dos dados (anual, decadal, secular, milenar ou multimilenar). As fontes derivam de processos terrestres que são controlados pelo clima e as evidências deixadas por tais processos atuam como substitutos das medições reais de condições passadas. Assim, o testemunho acompanha e registra um fenômeno natural como se fosse um arquivo.

Os testemunhos podem ser *qualitativos*, baseados em características da paisagem (por exemplo, morenas glaciais, leitos de lagos secos e costas abandonadas, dunas vegetadas inativas) ou podem ser *quantitativos*, com medições calibradas de fenômenos biológicos, geoquímicos e geofísicos (por exemplo, as larguras de anéis de árvores, valores isotópicos de gelo glacial e temperaturas obtidas em sondagens profundas). Os dados de testemunhos representam o mundo de diferentes maneiras, dependendo dos fatores climáticos que controlam suas formações.

A reconstrução paleoclimática começou, como muitos outros campos, de modo qualitativo. Muitos testemunhos climáticos são os valores medidos de aspectos dos sedimentos de lagos, sedimentos oceânicos, ou núcleos de gelo coletados de locais-chave de todo o mundo. A interpretação desses substitutos, no entanto, geralmente é qualitativa. Exemplos de reconstruções (SHUMAN, 2006) incluem inferências como:

- Temperaturas obtidas a partir de núcleos de sedimentos de lagos, uma vez que a quantidade de matéria orgânica ou sílica biogênica produzida por diatomáceas representa mudanças na produtividade aquática, fenômeno regido pela temperatura;
- Temperaturas obtidas a partir de registros de pólen fósseis de mudança da vegetação, com base em suposições sobre os controles na distribuição de plantas;
- Temperatura e umidade com base em valores isotópicos de gelo, sedimentos de lagos e fósseis marinhos que estão intimamente ligados aos efeitos de fracionamento isotópico dependentes da temperatura e da evaporação;
- Umidade baseada na concentração de macrofósseis de plantas aquáticas, tamanho dos grãos de sedimentos e descontinuidades em núcleos de sedimentos de lagos representam mudanças no nível de água do lago;
- Umidade baseada nas características dos sedimentos oceânicos representa mudanças na vazão de rios;
- Velocidade, direção do vento e gradientes de pressão atmosférica, com base em mudanças na composição sedimentos lacustres e oceânicos indicam influências por poeira terrestres, ressurgência oceânica e outros fenômenos impelidos pelo vento;
- Velocidade, direção do vento e gradientes de pressão atmosférica, com base em mudanças na química elementar e isotópica de núcleos de gelo que são controladas pela deposição de poeira e sais marinhos trazidos pelos ventos;

- Frequências de eventos de tempestade com base em camadas de sedimentos grosseiros depositados em lagos, lagoas costeiras, restingas e manguezais representam sedimentos depositados durante as cheias.

As reconstruções paleoclimáticas qualitativas são limitadas devido ao fato de não registrarem a magnitude absoluta das mudanças passadas da temperatura ou precipitação. Interpretações inadequadas podem surgir caso a resposta dos testemunhos não seja calibrada aos seus fatores determinantes. Muitos testemunhos se comportam de maneira complexa e podem ter controles múltiplos. Logo, tentar quantificar uma interpretação tem o benefício de estabelecer uma relação entre os testemunhos e os fatores que o controlam. Basicamente, Shuman (2006) destaca quatro tipos de reconstruções paleoclimáticas quantitativas:

- Medições de anéis de árvores têm oferecido uma ferramenta amplamente útil para quantificar as condições do passado, pois o crescimento dos anéis em árvores é geralmente regulado pelo clima. Relações locais entre as condições passadas do clima e do crescimento podem ser calibradas e verificadas utilizando a sobreposição entre os padrões atuais de crescimento com medições do clima na mesma região;
- Condições paleoclimáticas têm sido inferidas a partir de concentrações de micro e macro fósseis de organismos preservados nos sedimentos de oceanos, lagos, pântanos e solos por meio da quantificação das relações espaciais modernas entre a biota e o clima, e em seguida, assume-se que as mesmas relações regularam mudanças biológicas no passado;
- Registros geoquímicos também fornecem dados quantitativos do clima, uma vez que a temperatura influencia a abundância relativa entre isótopos pesados e leves de oxigênio e hidrogênio. Técnicas geoquímicas modernas incluem a reconstrução de temperaturas da água ou níveis de salinidade utilizando razões elementares (por exemplo, magnésio/cálcio – Mg/Ca) em minerais sedimentares, e usando geoquímica orgânica; e
- Medições físicas de temperatura a partir de poços profundos em rocha e gelo produziram estimativas quantitativas de temperaturas de superfície com base na física de fluxo de calor.

Enfim, com base nos diversos tipos de testemunhos e técnicas disponíveis (sumarizados na **Tabela 1**), é possível obter uma variedade apreciável de informações paleoclimáticas e paleoambientais correlatas: precipitação, umidade, temperatura atmosférica, temperatura dos oceanos, nível dos oceanos, direção e velocidade dos ventos, variabilidade solar, atividades vulcânicas, circulação atmosférica, concentração de gases na atmosfera, produtividade biológica e nutrientes nos oceanos, distribuição de plantas e animais, vazão de rios, salinidade, pH, volume de gelo, extensão da calota polar, detritos transportados pelo gelo (morenas), entre outros.

A **Tabela 2** apresenta uma síntese das características dos testemunhos e a **Figura 2** ilustra a resolução temporal bem como o alcance temporal dos principais testemunhos climáticos.

**Tabela 1** – Principais fontes de testemunhos utilizados em reconstruções paleoclimáticas

<b>Glaciológico (núcleos de gelo)</b>	Geoquímica (íons e isótopos de oxigênio, hidrogênio e outros <sup>a</sup> )		
	Concentração de gases em bolhas de ar		
	Concentrações de elementos-traço <sup>b</sup> e de micropartículas		
	Propriedades físicas (direções do gelo)		
<b>Geológico</b>	Marinho (núcleos de sedimentos oceânicos)	Sedimentos biogênicos (fósseis planctônicos e bentônicos)	Composição isotópica de oxigênio
			Abundância de fauna e flora
			Variações morfológicas
			Alquenonas <sup>c</sup> (a partir de diatomáceas)
		Sedimentos inorgânicos	Poeira terrestre (eólica) e morenas <sup>d</sup>
			Mineralogia da argila
	Terrestre	Depósitos e características de erosão glacial	
		Características periglaciais	
		Linhas costeiras (características eustáticas e glacio-eustáticas)	
		Depósitos eólicos (loess <sup>e</sup> e dunas de areia)	
Sedimentos lacustres e feições erosivas (costas)			
Feições pedológicas (paleosolos)			
	Espeleotemas (idade e composição dos isótopos estáveis)		
<b>Biológico</b>	Anéis de árvores (largura, densidade, composição de isótopos estáveis)		
	Pólen (tipo, abundância relativa e/ou concentração absoluta)		
	Macrofósseis vegetais (idade e distribuição)		
	Insetos (características de aglutinação)		
	Corais (geoquímica)		
	Diatomáceas, ostracodes e outros organismos em sedimentos lacustres (aglutinação, abundância, e/ou geoquímica)		
	Distribuição da população moderna (refúgios e relíquias de populações de plantas e animais)		
<b>Histórico</b>	Registros escritos de indicadores ambientais (fenômenos para-meteorológicos – secas, enchentes etc.)		
	Registros fenológicos <sup>f</sup>		

<sup>a</sup> Isótopos: <sup>10</sup>Be,  $\delta^{11}\text{B}$ , <sup>13</sup>C/<sup>12</sup>C, <sup>2</sup>H/<sup>1</sup>H, <sup>18</sup>O/<sup>16</sup>O, <sup>15</sup>N/<sup>14</sup>N, <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr e <sup>34</sup>S/<sup>32</sup>S.

<sup>b</sup> Elementos-traço: Bário (barita), Boro (na forma  $\text{B}(\text{OH})_4^-$ ), Cádmio, Magnésio, Fósforo, Ferro, Manganês, Cobalto, Níquel, Zinco, Cobre e Estrôncio.

<sup>c</sup> Alquenonas: gorduras trans produzidas por certas algas.

<sup>d</sup> Morenas: ver nota de rodapé nº 55.

<sup>e</sup> Loess: sedimento fértil, de coloração amarela, formado por partículas depositadas pelo vento.

<sup>f</sup> Registros fenológicos: ver nota de rodapé nº 38.

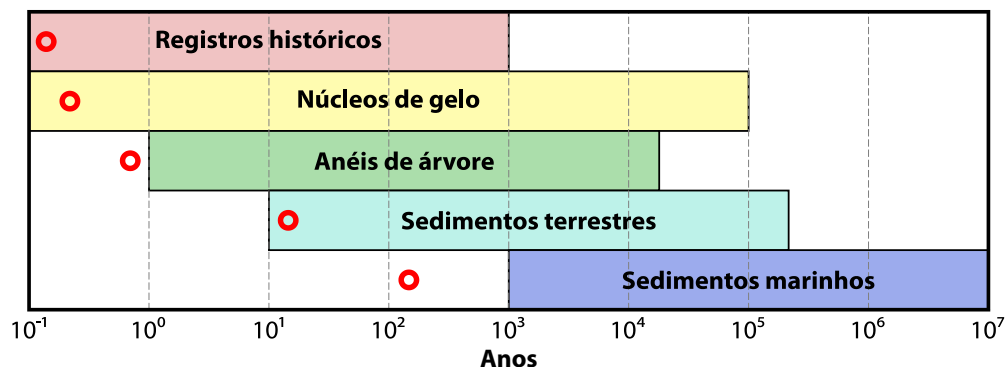
Fonte: Adaptado de Bradley (1999) e Gornitz (2009).

**Tabela 2** – Características dos principais testemunhos

Testemunho	Intervalo mínimo de amostragem	Intervalo temporal (ordem: anos)	Informação potencial derivada
Registros históricos	dia/hora	~10 <sup>3</sup>	T, P, B, V, M, N, S
Anéis de árvores	ano/estação	~10 <sup>4</sup>	T, P, B, V, M, S
Sedimentos lacustres	ano (varves) - 20 anos	~10 <sup>4</sup> - ~10 <sup>6</sup>	T, B, M, P, V, C <sub>w</sub>
Corais	ano	~10 <sup>4</sup>	C <sub>w</sub> , N, T, P
Núcleos de gelo	ano	~5 × 10 <sup>5</sup>	T, P, C <sub>a</sub> , B, V, M, S
Pólen	20 anos	~10 <sup>5</sup>	T, P, B
Espeleotemas	100 anos	~5 × 10 <sup>5</sup>	C <sub>w</sub> , T, P
Paleosolos	100 anos	~10 <sup>6</sup>	T, P, B
Loess	100 anos	~10 <sup>6</sup>	P, B, M
Geomorfologia	100 anos	~10 <sup>6</sup>	T, P, V, N, P
Sedimentos marinhos	500 anos	~10 <sup>7</sup>	T, C <sub>w</sub> , B, M, N, P

T = temperatura; P = precipitação, umidade; C = composição química do ar (C<sub>a</sub>) ou água (C<sub>w</sub>); B = biomassa e vegetação; V = vulcanismo (erupções); M = magnetismo (campos geomagnéticos); N = nível dos mares; S = sol (atividades solares).

Fonte: Adaptado de Bradley (1999).



**Figura 2** – Diagrama ilustrativo do alcance temporal dos principais testemunhos climáticos. As respectivas resoluções são representadas por um círculo. Fonte: Adaptado de Miranda (2010).

Embora os indicadores geológicos estendam ao mais antigo registro de rocha sedimentar, com quase 4 bilhões de anos atrás, eles geralmente são qualitativos e incompletos. A preservação desse tipo de testemunho pode ter sido seletiva e afetada por processos influenciados pelo clima, como a erosão, intemperismo e deposição. Embora os depósitos sedimentares terrestres ou os solos tenham sido modificados conforme o contato com a atmosfera e a hidrosfera, o seu desenvolvimento pode também ter sido fortemente controlado por outros processos não climáticos, como, por exemplo, os processos tectônicos (GORNITZ, 2009).

Os registros biológicos (fósseis) podem servir como indicadores paleoclimáticos úteis, uma vez que as plantas e os animais são, muitas vezes, bastante sensíveis ao seu meio ambiente e ao clima adjacente. Uma espécie fóssil útil é aquela que responde rapidamente a mudanças climáticas, se estende por uma faixa de tempo sem mudança evolutiva significativa, é relativamente abundante e generalizada no registro geológico, e pode ser bem preservada sem alteração posterior (GORNITZ, 2009).

Em todos os paleorregistros, a datação precisa é de importância fundamental. Sem uma datação precisa, é impossível determinar se os eventos ocorreram de forma síncrona ou se determinados acontecimentos causaram ou defasaram outros. Para entender a natureza das mudanças globais do passado, a datação precisa é necessária para avaliar a taxa em que as mudanças ambientais ocorreram, principalmente quando se considera mudanças climáticas de alta frequência e de curto prazo (BRADLEY, 1999). As principais técnicas de cronologia incluem análises de: racemização de aminoácidos conservados em biominerais (*Geocronologia de Aminoácidos* ou *Aminoestratigrafia*); distribuição de fósseis em estratos sedimentares (*Bioestratigrafia*); crescimento de anéis de árvores (*Dendrocronologia*); traços de fissão<sup>39</sup>; luminescência; polaridade geomagnética registrada em sequências de rochas (*Magnetoestratigrafia*); isótopos e radiometria (*Radiocronologia*).

<sup>39</sup> Método que envolve a utilização do número de eventos de fissão produzidos a partir do decaimento espontâneo de <sup>238</sup>U em minerais comuns.

### 1.5.3. Estimativas futuras da temperatura do ar

As temperaturas futuras são estimadas por meio de modelos matemáticos climáticos. Um modelo climático é uma representação do sistema atmosférico terrestre baseada em cálculos computacionais de equações de Navier-Stokes em uma esfera rotativa, com termos termodinâmicos para diferentes fontes de energia. Os modelos climáticos resolvem equações matemáticas que descrevem o balanço de energia do planeta, com o objetivo de compreender e reproduzir os processos de controle do clima. Os modelos diferem amplamente em sua complexidade, alguns consideram apenas o balanço (entrada/saída) de energia da Terra, enquanto outros tentam descrever todo o sistema climático, incluindo as complexas interações entre as diferentes componentes do planeta (como o oceano e a atmosfera) (PHILANDER, 2008).

O uso de modelos climáticos não é uma exclusividade de estimativas de temperatura no futuro, pois elas também são utilizadas em reconstruções passadas do clima. Todavia, a questão das mudanças climáticas induzidas pelo homem mudou o foco da modelagem do clima. Agora, muitos modelos são projetados para verificar o efeito da mudança das emissões humanas sobre o clima e previsão do clima futuro. As previsões ou projeções climáticas são feitas com modelos climáticos globais, que tem como base Modelos de Circulação Global (MCGs).

Nos MCGs, o planeta é dividido em uma grade tridimensional em forma de blocos retangulares. Na atmosfera, os modelos climáticos globais normalmente têm uma resolução horizontal de 200 a 300 km; e uma resolução vertical de algumas centenas de metros a 1 km. A resolução vertical dos modelos é geralmente mais fina na superfície (onde ela é necessária para resolver importantes processos de pequena escala) e torna-se grosseira em grandes altitudes. Na superfície, os níveis do modelo normalmente acompanham o terreno (níveis paralelos à topografia da superfície), mas, em níveis mais altos do modelo, o efeito da topografia da superfície é menor, e os níveis se tornam mais espessos. Os componentes oceânicos dos MCGs geralmente têm uma resolução maior que o componente terrestre, pois as estruturas de pequena escala como redemoinhos são importantes para o transporte de calor nos oceanos. A resolução nos oceanos varia tipicamente de 125 a 250 m na horizontal e 200 a 400 m na vertical (PHILANDER, 2008).

Com a divisão gradeada do planeta, cálculos são feitos para as trocas verticais e horizontais de energia e matéria (umidade) entre os blocos. Incertezas nas parametrizações utilizadas nos modelos climáticos contribuem para a incerteza nas previsões climáticas. Para investigar a sensibilidade do modelo a estas incertezas, é executado um conjunto de várias simulações. Para verificar a validade de um novo modelo, tenta-se reproduzir os eventos que já ocorreram no passado. Se os modelos descrevem o passado com sucesso, então eles podem ser usados para prever o futuro com algum grau de confiança. O sucesso de um modelo depende,

em parte, da capacidade dos cientistas em explicar as interações entre terra, atmosfera, oceanos e os seres vivos. No entanto, alguns fatores não são bem compreendidos.

Nuvens, por exemplo, têm dois efeitos concorrentes sobre o clima: elas refletem a luz solar de volta para o espaço e elas bloqueiam o calor emitido pela superfície. Se temperaturas mais altas aumentam a quantidade de nuvens, os efeitos são pouco claros e por isso não são fáceis de modelar. Além desses fatores ainda pouco compreendidos, os modelos devem ter em conta os mecanismos de *feedback* (retroalimentação), tanto os positivos quanto os negativos. Nos *feedbacks* positivos, existem situações em que uma pequena alteração em algum aspecto no sistema amplia o efeito original e, portanto, causa um efeito muito maior (DESONIE, 2008).

Os modelos de previsão climática tentam elaborar cenários do clima de muitos anos no futuro. Eles não têm o objetivo de prever determinados acontecimentos de pequena escala (em comparação com a previsão do tempo, que tenta prever, por exemplo, a ocorrência de uma tempestade em um determinado dia). Em vez disso, a elaboração de cenários do clima tem uma abordagem estatística na qual as propriedades gerais do clima podem ser previsíveis; normalmente a média ou a variância das variáveis climáticas são previsíveis (como a temperatura média em determinado mês ou ano). Os modelos climáticos consideram uma série de variáveis climáticas diferentes, algumas das quais podem ser modelados com um grau relativamente elevado de confiança (tais como a temperatura), enquanto outros permanecem muito mais incertos (como a precipitação). Nos modelos climáticos são considerados os tipos diferentes de variabilidade no sistema da Terra, como as mudanças naturais e as induzidas pelo homem (PHILANDER, 2008).

## **1.6. HISTÓRIA DA ORIGEM DOS PENSAMENTOS FILOSÓFICOS, ESTUDOS PALEOCLIMÁTICOS E DOS CICLOS CLIMÁTICOS**

### **1.6.1. Pré-história: Registros Arqueológicos**

#### **1.6.1.1. Arqueologia e Arte Megalítica – *Newgrange* (Irlanda)**

Ao estudar a atividade e cultura humana por meio da recuperação e análise de objetos materiais, a *Arqueologia* tem permitido resgatar como os povos pré-históricos compreendiam a natureza. No último período da Pré-história<sup>40</sup>, no Neolítico (entre 10.000 a 3.000 a.C.), a fixação das pessoas em vilas e aglomeração de habitações formaram as primeiras povoações. Com isso,

---

<sup>40</sup> A Pré-história é o período da história humana compreendido entre o uso das primeiras ferramentas de pedra pelos hominídeos (cerca de 3,3 milhões de anos atrás) e o início da história registrada, com a invenção dos sistemas de escrita. O uso de símbolos, marcas e imagens aparece muito cedo entre os humanos, mas os primeiros sistemas de escrita conhecidos apareceram cerca de 5.000 anos atrás (próximo do ano 3.000 a.C.).



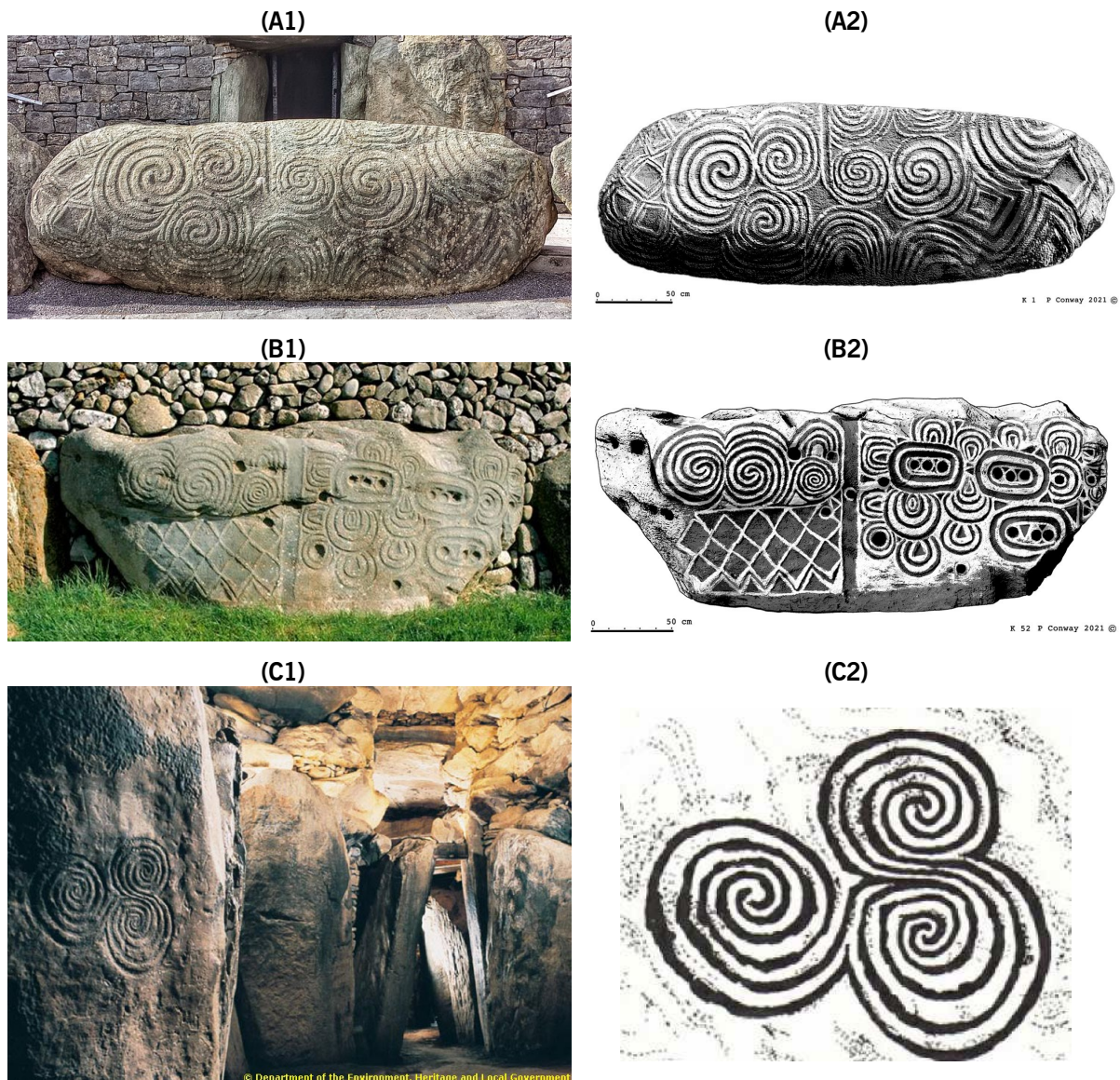
os habitantes começaram a intensificar suas preocupações com o seu bem-estar e suas reverências com a espiritualidade. Referente a esse contexto histórico que estudos arqueológicos identificaram, na Europa Ocidental, a ocorrência de artes (pintadas ou esculpidas) em pedras grandes, denominadas *megálitos*<sup>41</sup>. A arte megalítica – iniciada no Neolítico e presente até a Idade do Bronze (entre 3.300 a 700 a.C.) – é encontrada em muitos lugares da Europa Ocidental, embora as principais concentrações estejam na Inglaterra, Malta, Irlanda, Bretanha e Península Ibérica (MEGALITHIC ART, 2021).

Muitos grandes pensadores e pesquisadores ficaram fascinados por essas exóticas exceções à vida rural simples: pedras lendárias, erguidas por povos antigos desconhecidos, sem qualquer uso prático conhecido. Através dos tempos, as pessoas adoraram usar a imaginação para encontrar explicações sensatas para os muitos enigmas apresentados pelos megálitos. No entanto, a arte megalítica tende a ser altamente abstrata e contém relativamente poucas representações de objetos reais reconhecíveis. Ao assemelhar-se à arte rupestre pré-histórica por conter muitos possíveis motivos parecidos, o significado da arte megalítica geralmente é objeto de muito debate. Ainda hoje, pode-se admitir que ainda restam muitos mais mistérios do que certezas sobre a natureza motivadora de muitos dos megálitos. O conjunto desses interessantes monumentos muitas vezes sobrepõem diferentes motivações: eles podem ter sido locais de culto, enterros antigos e monumentos de arte rupestre. Mas há algo claramente distinto nos monumentos megalíticos, sensações de: admiração de tempos antigos misteriosos; melancolia de culturas há muito esquecidas, com conjuntos de valores muito diferentes; e, muitas vezes, um incômodo estranhamento por não se ter a menor ideia do porquê de os antigos terem construído tais intrigantes e duradouras estruturas gigantes, impressionantemente utilizando somente tecnologias primitivas (PAVILS, 2021).

Cada megálito possui seus significados particulares e, com as devidas ressalvas, é possível conjecturar sobre a origem das motivações mais plausíveis. Entre os milhares de monumentos existentes, cabe focar em um caso em específico: *Newgrange* (Irlanda), um preservado sítio arqueológico classificado entre os 10 mais famosos megálitos do mundo, juntamente com *Stonehenge* e as *Cabeças da Ilha de Páscoa*. A Irlanda possui a maior concentração de arte megalítica na Europa, particularmente no Vale Boyne. Construída por volta de 3.200 a.C. – antes mesmo do que *Stonehenge*, das pirâmides do Egito e até mesmo da escrita – *Newgrange* consiste em uma tumba do conjunto arqueológico do Vale Boyne. A forma de arte presente no local, que parece ser totalmente abstrata, talvez seja a mais famosa com suas conhecidas *espirais múltiplas* ou *triplas* (**Figura 3**).

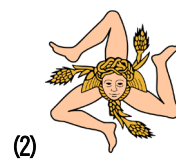
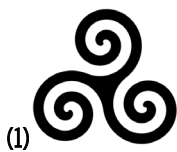
---

<sup>41</sup> *Megálito* (do grego antigo *mega*, “grande”; e *lithos*, “pedra”) é uma grande pedra que foi usada para construir uma estrutura ou monumento pré-histórico, sozinho ou em conjunto com outras pedras, sem o uso de argamassa ou cimento. Só na Europa, existem mais de 35.000 megálitos (HANDWERK, 2019). Os megálitos mais icônicos e famosos incluem, por exemplo, as estruturas: de *Stonehenge* (Inglaterra), estrutura circular construída entre 3.100 e 2.000 a.C.; e da *Ilha de Páscoa* (ilha polinésia, pertencente atualmente ao Chile), contendo os megálitos conhecidos como “Cabeças da Ilha de Páscoa” (ou *Moais*), construídas entre 1.250 e 1.500 d.C.



**Figura 3** – Alguns megálitos de *Newgrange*. **(A1)** Fotografia da pedra de entrada (denominada “*Kerbstone 1*”, ou somente “*K1*”) de *Newgrange* **(B1)** Pedra *K52*, representando o solstício de verão, está posicionada diretamente em frente à pedra *K1*. **(C1)** O desenho da *espiral tripla*<sup>42</sup> gravado em uma das pedras (*C10*) dentro da câmara

<sup>42</sup> A *espiral tripla*—também conhecida como *trícele*, *triskele*, *triskel*, *triskle* ou *trisqueleon*—é provavelmente o símbolo megalítico irlandês mais famoso. Muitas vezes é referido como um desenho celta, mas foi esculpido pelo menos 2.500 anos antes dos celtas chegarem à Irlanda (NEWGRANGE, 2021b). Consistindo em uma espiral tripla exibindo simetria rotacional, a antiga representação do desenho espiral do triskel pode ser baseado em espirais de Arquimedes entrelaçadas (versão celta) ou representar três pernas humanas dobradas:



**Figura (A)** da nota de rodapé n. 42 – Duas formas de representação do triskel: (1) espirais triplas de Arquimedes entrelaçadas (versão celta); (2) três pernas humanas dobradas, aqui representado pelo símbolo *Trinacria da Sicília* (com asas e espigas de milho, desenho da década de 1940, baseado no emblema encontrado em moedas cunhadas em Siracusa no período helenístico). Tal símbolo consta na bandeira da Sicília. Fonte: Triskelion (2020).

central de *Newgrange*. Com 30 cm de diâmetro, o desenho da tri-espiral é relativamente pequeno em tamanho, menos de um terço do tamanho do desenho tri-espiral na pedra de entrada. Quando *Newgrange* foi construída há mais de 5.000 anos, o raio solar do solstício de inverno chegava até ao fundo do interior da câmara central. Devido a mudanças na inclinação do eixo da Terra, o raio de Sol atinge hoje cerca de 2 metros do ponto original. **(A2)**, **(B2)** e **(C2)** Ilustrações ressaltando as espirais contidas nas pedras da *K1*, *K52*, *C10*, respectivamente. Fontes: (A1) OGREBOT (2014); (A2) CONWAY (2021); (B1) NEWGRANGE (2021a); (B2) CONWAY (2021); (C1) NEWGRANGE (2021b); (C2) SPIRAL (2015).

Quanto ao propósito original de *Newgrange*, houve vários debates. Muitos arqueólogos acreditavam que o monumento tinha um significado religioso, seja como um local de culto aos mortos ou para uma fé baseada em astronomia. A veneração dos mortos poderia ser uma forma particular de religião neolítica europeia, como um de seus princípios. *Newgrange* e outros monumentos megalíticos exibem evidências de que diferentes crenças religiosas que eram orientadas para o sol, em vez de direcionadas aos ancestrais. Estudos em outros campos de especialização oferecem interpretações alternativas das possíveis funções, no entanto, que se concentram principalmente na astronomia, engenharia, geometria e mitologia associadas aos monumentos de Boyne. Especula-se que o Sol formou uma parte importante das crenças religiosas dos povos neolíticos que o construíram. Uma ideia era que câmara sepulcral fosse projetada para uma captura ritualística dos raios de Sol no dia mais curto do ano, o Solstício de Inverno, quando o interior regularmente escuro da câmara fica inundado de luz solar, o que pode ter sinalizado que os dias começariam a ficar mais longos novamente. Essa visão é reforçada pela descoberta de alinhamentos em outros locais, levando à interpretação desses monumentos como dispositivos astronômicos de “calibração” de calendários (O’KELLY, 1982).

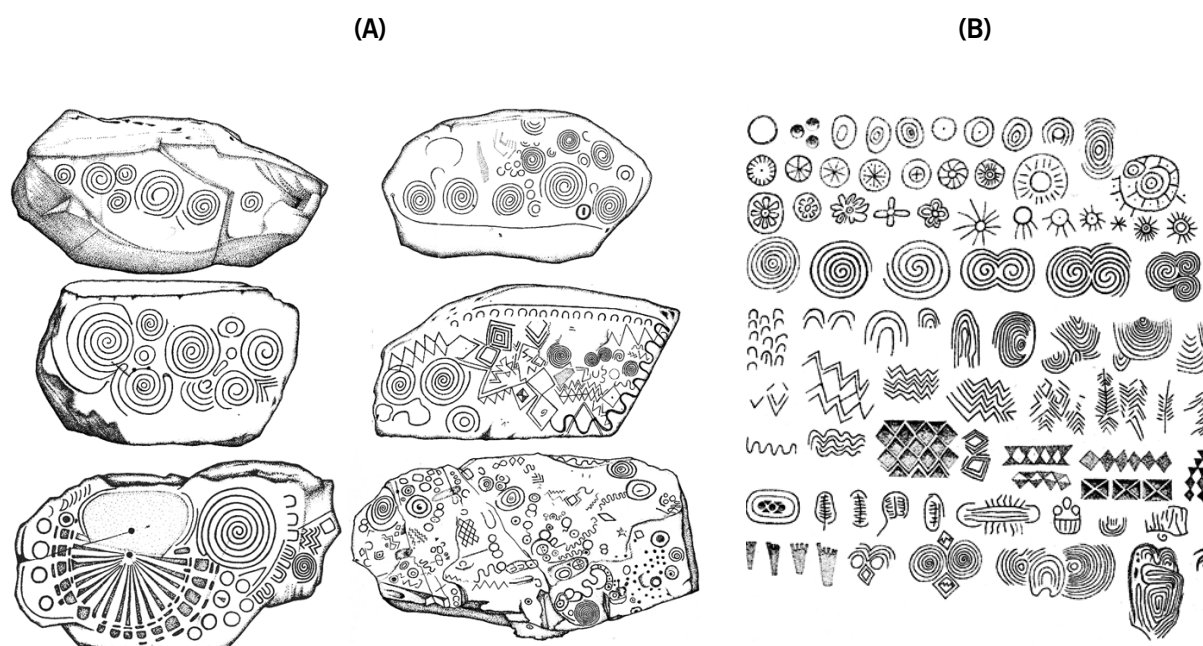
Espirais e círculos concêntricos são os símbolos mais antigos da civilização (MORRISON, 2004). O caso de *Newgrange* aqui apresentado é somente um entre diversos outros megálitos que contendo esse tipo de representação *espiral*<sup>43</sup>. O significado simbólico da espiral na arte pré-histórica é especulativo. Alguns aventam para o viés místico, podendo significar um portal para um mundo espiritual, a própria vida, ou a vida além da vida – a eternidade. Outros argumentam para uma interpretação astronômica, podendo a espiral

---

Embora apareça em muitos lugares e períodos, a espiral tripla é encontrada em artefatos do Neolítico Europeu e da Idade do Bronze com continuação na Idade do Ferro, especialmente no contexto da cultura *La Tène* e tradições celtas relacionadas. A origem do símbolo triskel de três pernas humanas é encontrado especialmente na antiguidade grega, começando na cerâmica arcaica e continuando na cunhagem do período clássico. A cultura *La Tène* tornou-se muito difundida, distinguindo-se das culturas anteriores e vizinhas principalmente pelo estilo típico da arte celta, caracterizada pela decoração em curvas espirais, como se fossem redemoinhos, especialmente de metalurgia (TRISKELION, 2020).

<sup>43</sup> O padrão espiral é um dos mais comuns na natureza, de conchas de caracóis, a redemoinhos, furacões e galáxias (conforme amostra de imagens nas notas introdutórias, p. viii e ix). É também um dos padrões mais antigos criados por humanos, com evidências de esculturas rupestres em todo o mundo, algumas datando de dezenas de milhares de anos. Esta antiga forma de arte ou geometria, frequentemente esculpida em rochas ao ar livre, é ainda hoje observada por conta justamente da alta resiliência das pedras ao intemperismo ambiental.

representar o Sol a adoração a ele, como a “fonte da vida”, ou fonte de energia motora da agricultura e a respectiva produção de alimentos. Ou então, pode ter tido um propósito mais prosaico, funcional, como de um dispositivo de calendário, empregado para desconstruir o tempo em capítulos, estações e solstícios. Para Bradshaw Foundation (2021), os grandes blocos de pedra adornados com *petróglifos*<sup>44</sup> – cujos padrões geométricos (**Figura 4**), incluem espirais – permitiriam o cálculo dos meses sinódicos e siderais e a duração exata do ano, sugerindo uma consciência de um ciclo lunar de 19 anos.



**Figura 4** – (A) Megálitos de *Newgrange* e de *Knowth*, na Irlanda. (B) Variedade de desenhos contidos na pedra *K18* de *Newgrange* (última à direita da figura (A)), com formatos predominantemente esféricos, espirais e curvos. Tal arte poderia ser puramente ornamental sem qualquer significado, mas seria de esperar mais repetição nos desenhos. Pelo contrário, cada pedra decorada tem uma composição única de elementos simples, como triângulos, losangos, arcos, círculos concêntricos, espirais, divisas e linhas onduladas. Fonte: Bradshaw Foundation (2021).

Apesar de várias tentativas de classificar e interpretar os petróglifos, em especial a espiral, eles ainda hoje permanecem enigmáticos. Em recente trabalho de Türlér (2020), demonstrou que algumas das espirais mais elaboradas são prováveis representações de calendário, identificando até cinco diferentes manifestações dos ciclos solar e lunar, que poderiam ser facilmente observadas na Irlanda pré-histórica. Na busca do sentido oculto da arte abstrata, o caminho mais promissor parece ser uma associação com manifestações celestes. De fato, os ciclos regulares do Sol, da lua e das estrelas devem ter fascinado a humanidade já nos tempos pré-históricos. Pelo menos na era neolítica, as comunidades assentadas provavelmente teriam dado grande importância a esses

<sup>44</sup> Petróglifos (do grego *petros*, “pedra”; e *glyphein*, “talhar”) são representações gravadas pelo homem em pedra ou em rochas.

ciclos, porque estão ligados à passagem das estações que afetam sua vida agrícola. Outra pista é que as pedras mais ricamente gravadas não são colocadas aleatoriamente, mas orientadas para pontos celestes específicos. Isto é particularmente evidente em *Newgrange* com as pedras *K52* e *K67* orientadas na direção do nascer e do pôr do sol no solstício de verão. Por fim, o alinhamento intencional das passagens com a direção do nascer ou do pôr do sol em dias específicos do ano é uma evidência clara da importância dos ciclos anuais para a comunidade neolítica. Nesse contexto, seria natural esperar que pelo menos parte da arte também estivesse relacionada a manifestações astronômicas.

Ainda segundo Türler (2020), a representação mais explícita dos ciclos astronômicos parece estar na pedra *K52* em *Knowth*<sup>45</sup> (Figura 5). Esta pedra, chamada “pedra do calendário”, mostra uma sucessão de 22 crescentes ou ferraduras completadas por 7 círculos. Seu arranjo em um elipsoide deixa poucas dúvidas de que eles representam as fases da lua ao longo de 29 dias, ou seja, o mês sinódico. A linha ondulada associada foi interpretada como uma contagem de meses para sincronizar os ciclos lunares e anuais. Além deste exemplo e possivelmente de outras afirmações menos robustas, a grande maioria da arte rupestre ainda não pôde ser interpretada de forma convincente e coerente.



**Figura 5** – A “pedra do calendário” (*K52*) de *Knowth*. (A) Fotografia e respectiva (B) ilustração indicando 29 círculos e crescentes/ferraduras (símbolos com formato “J”) esculpido ao redor da longa linha ondulada no meio da pedra. Estes círculos/crescentes representam o ciclo mensal da lua. Contando no sentido horário (de 0 a 29), a lua nova é o primeiro crescente a emergir da espiral. Fontes: (A) Knowth (2021); (B) Prendergast (2017).

Tentativas anteriores de relacionar os símbolos gravados com os ciclos astronômicos não identificaram as espirais como a forma mais provável para representá-los. Türler (2020) relata que trabalhos anteriores haviam concluído que as espirais no sentido horário seriam

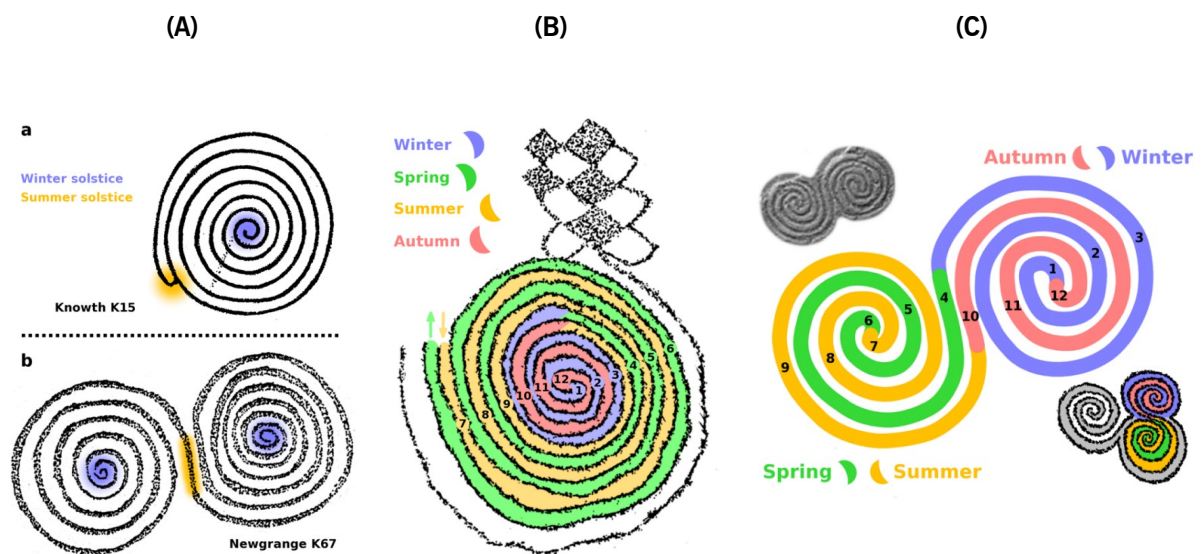
<sup>45</sup> O Grande Monte em *Knowth* foi construído há mais de 5.000 anos, provavelmente após a construção de *Newgrange* e antes da construção de *Dowth*. Semelhante em tamanho a *Newgrange*, *Knowth* é cercado por 18 montes menores ao redor.

representações do Sol, uma vez que a estrela traça uma espiral no sentido horário, com voltas diárias aumentando em tamanho do inverno ao solstício de verão, no horizonte sul. Com base nessa e em outras informações, o autor chegou ao resultado que está expressado na **Figura 6**. Nas imagens, em suma nota-se:

- **Figura 6-(A)**: as espirais proeminentes exibem uma contagem de 13 ciclos, que parecem incluir três características de calendário: 1) a sucessão interminável de anos, 2) aumento da duração da luz do dia do inverno ao solstício de verão (amarelo) e 3) o alargamento associado à trajetória diária do Sol no céu. Essas características aparentemente estão todas incorporadas na espiral gravada, curiosamente, ao lado do que é provavelmente um relógio de Sol (pedra *K15*) em *Knowth* (**a**). A espiral de 13 voltas começa pelo centro, faz 7 voltas para fora (ampliação) e depois, em 6 rotações adicionais, retorna pelo mesmo caminho de volta ao centro (contração). Assumindo que cada volta representa um mês com o solstício de inverno no centro, as sete voltas de ampliação e seis voltas de contração podem representar as variações ao longo dos meses do arco traçado pelo Sol no céu. A luz do dia mais longa associada no verão também seria representada pela duração mais longa necessária para percorrer (ou seguir com o dedo) os laços externos. Com o ano começando e terminando no ponto central (solstício de inverno, em azul), é possível seguir o caminho por muitos anos sem levantar o dedo. Todas as três características do calendário estão igualmente presentes em uma espiral (**b**) em forma de “S” em *Newgrange*, na pedra *K67*, que aparentemente é uma versão desdobrada do desenho anterior. As 13 voltas agora estão dispostas de forma a dividir o ano em semestres inverno/primavera e verão/outono, com a transição no solstício de verão (amarelo).
- **Figura 6-(B)**: padrão espiral mais elaborado localizado na câmara de *Newgrange* na pedra *C2*, logo à esquerda da espiral simples de 13 voltas da **Figura 6-(A)**. Nessa pedra *C2*, a gravação de duas espirais entrelaçadas deixa em relevo um caminho contínuo que é como uma corda enrolada no meio, produzindo uma “espiral dupla” com cada extremidade traçando um caminho distinto em direção ao centro. A importância simbólica deste desenho é refletida pela presença de cinco dessas espirais na pedra *K1* da entrada de *Newgrange* [**Figura 3 - (A1) e (A2)**]. As características do calendário anterior estão presentes com o solstício de inverno (azul) sendo novamente suposto estar no centro da espiral e o solstício de verão em sua borda (amarelo). O desenho permite uma sucessão infinita de anos graças aos pontos de entrada e saída (setas amarela e verde) próximos um do outro no lado

esquerdo. No entanto, esta característica implica um número não inteiro de voltas (*loops*). Um mês deve ser contado cada vez que o arco espiral corresponde à orientação da forma crescente da meia-lua “dominante”, vista subindo no horizonte leste, e representada esquematicamente no canto superior esquerdo da imagem.

- **Figura 6-(C):** padrão espiral ainda mais elaborado localizado na pedra *K13* em *Knowth*. A parte central outono/inverno (vermelho/azul) da “dupla espiral” anterior é mantida, mas a parte externa primavera/verão (verde/amarelo) é enrolada em outro centro. Um total de 12 meses é obtido ao contá-los, como antes, cada vez que a curva da espiral corresponde à orientação da meia-lua “dominante” vista quando ela está nascendo no horizonte leste. A intenção deste recurso adicional parece ser separar o ano em um *semestre claro* (primavera/verão) e um *semestre escuro* (outono/inverno), com uma transição nos equinócios.



**Figura 6** – Síntese dos resultados de Türler (2020), contendo a explicação visual dos petróglifos espirais e suas correspondências com os ciclos das estações ao longo de um ano. **(A)** Duas espirais com uma contagem de 13 voltas, (a) desenho na pedra *K15* em *Knowth*; e (b) a espiral em forma de “S” na pedra *K67* em *Newgrange*, que pode ser vista como uma versão desdobrada do mesmo padrão. Ambas representações podem indicar um ano de 13 meses com o solstício de inverno nos centros das espirais (azul) e o solstício de verão nos pontos de rebobinagem (amarelo). **(B)** Espiral dupla na pedra de câmara *C2* dentro de *Newgrange*, colorida em azul, verde, amarelo e vermelho para marcar as supostas estações do inverno, primavera, verão e outono, respectivamente. A numeração correspondente dos meses do solstício de verão (seta amarela) ao solstício de inverno no centro e de volta ao solstício de verão (seta verde) é indicada com números (janeiro = 1). Um mês deve ser contado cada vez que o arco espiral corresponde à orientação da forma crescente da meia-lua “dominante”, vista subindo no horizonte leste e representada esquematicamente no canto superior esquerdo da imagem. **(C)** Delicada espiral dupla em forma de “S” na pedra *K13* em *Knowth*, usando as mesmas cores de (B) para indicar as estações propostas. A espiral colorida é baseada na forma exata do padrão gravado conforme mostrado no canto superior esquerdo. Aqui, novamente, a contagem de meses sugerida corresponde à orientação da meia-lua ascendente visível no horizonte leste e começa com o solstício de inverno (janeiro = 1). A imagem inferior direita mostra que o mesmo tipo de desenho faz parte da bela espiral tripla na câmara central de *Newgrange* [Figura 3 – (C1) e (C2)]. Fonte: Türler (2020).

Embora o trabalho de Türler (2020) seja especulativo por natureza, muitas pistas dão confiança na sua brilhante e esclarecedora interpretação. Se correto, isso implicaria que alguns indivíduos pré-históricos chegaram a desenvolver impressionantes habilidades para observações astronômicas cíclicas, bem como expressaram um critavo nível de abstração intelectual para representá-las como espirais – fatos que se assemelham a um processo científico, ainda que empírico e rudimentar. De qualquer forma, os resultados apresentados pelo supracitado autor são promissores e condizentes com uma lógica eficiente. Suas interpretações dos petróglifos espirais como possíveis representações de calendário pré-histórico demonstram saliente credibilidade, sustentada por uma fundamentação coerente e satisfatoriamente verossímil.

### 1.6.2. História: Pensamentos Históricos e Mitológicos<sup>46</sup>

A *alternância*<sup>47</sup> é um fato inerente ao processo de interpretação de muitos aspectos da realidade. A característica fundamental dos opostos que se alternam nos diversos fenômenos da natureza foi primitivamente imposta à observação dos filósofos. Heráclito<sup>48</sup>, poeta-pensador e ávido ouvinte da Natureza e do seu discurso interno, deduziu, na unidade do cosmos, o *ritmo*<sup>49</sup> dos contrários, conforme seus *fragmentos* destacados na **Tabela 3**, a seguir:

---

<sup>46</sup> Item baseado em Nelson (1980).

<sup>47</sup> Segundo Bosi (1997), a resolução das diferenças no processo uno que a tudo subjaz foi um dos temas centrais da filosofia grega. E a meditação sobre o ritmo, enquanto alternância, não pôde desligar-se do caráter bipolar da vida que aparece em toda parte: no *gênero* (masculino/feminino), no *ciclo do ar* (inspiração/expiração), no *movimento do sangue* (fluxo/refluxo marcado pelas batidas do coração), nos *estados da temperatura e umidade* (quente/frio; úmido/seco), nos *estados do som* (grave/agudo), nos *momentos do tempo* (lento/rápido), nos *modos da luminosidade* (claro/escuro), nos *modos da energia* (forte/fraco), e assim por diante.

<sup>48</sup> Heráclito de Éfeso [535-475 a.C.] era um filósofo grego jônico pré-socrático. Foi chamado de “O Obscuro”, mesmo na antiguidade, por conta da natureza oracular e paradoxal de sua filosofia, e seu gosto pelo jogo de palavras. Ele escreveu uma única obra, *Sobre a Natureza*, cuja obscuridade é agravada pelo fato de permanecer apenas em *fragmentos*. Suas declarações enigmáticas são objetos de inúmeras interpretações. Acreditando que o mundo era feito de fogo, Heráclito estava comprometido com uma unidade de *opostose* e *harmonia* no mundo.

<sup>49</sup> *Ritmo* [“qualquer fluxo ou movimento medido, simetria”, do latim *rhythmus* e do grego antigo *rhuthmós* (este proveniente do grego *rhéō*, ou *rein*, denotando “fluir”)] pode significar (RITMO, 2020; RHYTHM, 2020): 1. (Música) a variação de elementos fortes/fracos ou graves/agudos (como duração, acentuação) de sons, principalmente na fala ou na música, ao longo do tempo; padrão de pulsações regulares ou não, causadas pela ocorrência de batidas melódicas e harmônicas; uma batida, marcação ou métrica (Exemplo de frase: O ritmo da música é contagiante); 2. (Dança) Movimento controlado, como na dança (Ex.: Simplesmente dance o forró no ritmo da música); 3. (Aplicação geral) O andamento ou velocidade de um padrão especificamente definido em um movimento, procedimento ou evento repetitivo, com recorrência uniforme na variação (Ex.: Andamos em um ritmo rápido e uniforme); 4. (Aplicação geral) fluxo, repetição ou regularidade (Ex.: Depois de obter o ritmo, o trabalho se tornará fácil.); e 5. (Natureza) uma mudança quantitativa regular em um processo variável, notavelmente natural (Ex.: O ritmo das estações domina a agricultura e a vida selvagem. Na ideia de *ritmo* está impressa a figura da passagem ou mudança de estado. Se após uma determinada mudança ocorre uma nova passagem que retorna a estados anteriores, então tem-se a repetição. Assim, o movimento operado pelo ritmo se faz: a) do mesmo para o outro (passagem para a *alteridade*), b) do outro para o mesmo (passagem para a *repetição*). O movimento que muda as coisas para, depois, reproduzi-las, e que as reproduz para de novo mudá-las, rege-se, no fundo, por um esquema *cíclico*. Platão já dissera coisa parecida ao definir o ritmo como “ordem do movimento” (BOSI, 1977). A partir de como foi entendida por Platão, a significação de ritmo, com base em Andrade (2015), é toda e qualquer organização do movimento dentro do tempo, hoje associada a um intervalo de tempo regular. Na música em geral, consiste em agrupar valores de tempos combinados, por meio de acentos



Tabela 3 – Fragmentos selecionados de Heráclito, com traduções de duas fontes

Nº do fragmento	Tradução de Anaximandro (1991)	Tradução de Bosi (1997)
9	O contrário em tensão é convergente; da divergência dos contrários, a mais bela harmonia.	Aquilo que se obsta conduz à concordância, e das tendências contrárias provém a mais bela harmonia.
10	Conjunções: completo e incompleto (convergente e divergente, concórdia e discórdia, e de todas as coisas, um e de um, todas as coisas).	Articulações: inteiros-não inteiros, concorde-discorde, consoante-dissonante, e de tudo um, e de um, tudo.
30	O mundo, o mesmo em todos, nenhum dos deuses e nenhum dos homens o fez mas sempre foi, é e será, fogo sempre vivo, acendendo segundo a medida e segundo a medida apagando.	Este cosmos, o mesmo para todos, não o fez nenhum dos deuses nem dos homens, mas ele foi sempre é e será: um fogo sempre vivo, acendendo e extinguindo-se segundo medidas.
48	O arco tem por nome a vida, por obra, a morte.	O nome de arco (bíós) é vida (bíós), sua obra, porém, morte.
49a	No mesmo rio entramos e não entramos; somos e não somos.	Para dentro dos mesmos rios descemos e não descemos; somos e não somos.
51	Não compreendem, como concorda o que de si difere: harmonia de movimentos contrários, como do arco e da lira.	Não compreendem como o discorde concorda consigo mesmo: harmonia, reciprocamente tensa, como a do arco e da lira.
59	O caminho dos pintores, reto e curvo.	A rota do parafuso do pisão, reta e curva, é uma e mesma.
60	Caminho: para cima, para baixo, um e o mesmo.	A rota para o alto e para baixo é uma e a mesma.
61	O mar, água, a mais pura e a mais impura. Para os peixes, potável e vivificante, para os homens, não potável e mortal.	O mar; água a mais pura e a mais poluída: potável e salutar para os peixes, impossível e mortífera para os homens.
62	Imortais mortais, Mortais imortais, vivendo a morte dos outros, morrendo a vida dos outros.	Imortais-mortais, imortais-imortais: a vida destes é a morte daqueles, e a vida daqueles, a morte destes.

agudos e graves. Em outras palavras Schopenhauer assim definiu o ritmo: “O ritmo é, no tempo, o que a simetria é no espaço”. A partir de um breve resgate da origem do termo *rítmo*, observa-se que seu significado teve um caminho sinuoso. No Ocidente, ritmo remete ao *rytmós* do grego. Uma primeira abordagem permitiria estabelecer uma sutil ligação entre as palavras *rytmós* e *rein* (do grego, significa “fluir”): o homem, ao observar o mar, notou no movimento de fluxo e refluxo de suas ondas uma constante *regularidade*. Todavia, a noção de ritmo enquanto o vai-e-vem das ondas não se compreenderia exatamente na palavra *rein*, esta que, por sua vez, sugere a imagem de um contínuo fluir dos rios, em uma permanente correnteza. Sob uma segunda abordagem, na ótica dos elementos formais da música, o ritmo seria um elemento tão velho quanto o homem. Ou seja, o ritmo é característica intrínseca do corpo humano, conforme manifestado nos movimentos do coração e nos atos de respirar e caminhar. Antes da concepção atual, *rytmós* possuía outro sentido: “forma distintiva, figura proporcionada, disposição”. Demócrito [c. 460 – c. 370 a.C.], filósofo da escola jônica, empregava *rytmós* como “forma”, ou seja, “o arranjo característico das partes num todo”. Foi somente a partir de Platão que *rytmós* passou a delimitar o que hoje é entendido como ritmo nas artes em geral (música e dança), exemplificando sua concepção de ritmo corporal como uma “forma do movimento que o corpo humano executa na dança, e à disposição das figuras nas quais se resolve esse movimento”. Na música grega, o ritmo consistia em um aspecto extraordinariamente enriquecedor: como a música não era uma arte isolada, estava sempre unida à poesia e à dança, o compositor grego era ao mesmo tempo cantor, poeta e dançarino. Portanto, as músicas continham texto e expressão coreográfica, o ritmo unia as três artes (ANDRADE, 2015). Da mesma forma, pode-se interpretar que o ritmo é inseparável da harmonia, visto que, segundo Platão: (1) Em sua obra *Banquete* (ver a nota de rodapé 258), dizia que “(...) o ritmo resulta do rápido e do lento, primeiro opostos, depois concertados” – aqui, o ritmo aparece na forma de uma harmonia de base temporal; e, (2) Em sua obra *Leis*, declarou que o “ritmo é o nome da ordem em movimento; ordem na voz, uma mistura de tom alto e baixo, é chamada *harmonia*; e a combinação dos dois é chamada de coro (ou arte vocal)” [traduzido a partir de Meyer (2015)]. A obra *Leis* revisita muitos temas da mais famosa obra de Platão, *A República*, de 375 a.C., examinando não somente os produtos de um legislador ou de um processo legislativo formal, mas contendo muitas reflexões ampliadas sobre psicologia, educação, arte, teoria legislativa, criminologia e teologia. Mais detalhes e exemplos dos ritmos, musicais, vocais (canto), corporais (dança), na poesia, e no corpo humano podem ser consultados em revisão de Pessôa (2006) e Neves (2013).

67	O mistério: dia-noite, inverno-verão, guerra-paz, saciedade-fome (...)	O deus é dia-noite, inverno-verão, guerra-paz, saciedade-fome.
76	(A morte da terra é tomar-se água, a morte da água, tomar-se ar e a do ar tomar-se fogo e vice-versa).	O fogo vive a morte da terra, e o ar vive a morte do fogo; a água, a morte do ar; a terra, a morte da água. A morte do fogo é gênese do ar, e a morte do ar, gênese da água
88	O mesmo é vivo e morto, vivendo-morrendo a vigília e o sono, tanto novo como velho: pois estes se alterando são aqueles e aqueles se modificando são estes.	É uma e a mesma coisa: o vivo e o morto, o acordado e o adormecido, o jovem e o idoso; pois pela conversão, isso é aquilo, e aquilo, convertendo-se por sua vez, é isso.
103	Princípio e fim se reúnem na circunferência do círculo.	Na circunferência do círculo, o começo e o fim são comuns.
126	(O frio se esquenta, o quente se esfria, o úmido seca, o seco se umidifica).	As coisas frias tornam-se quentes, o quente frio, o úmido seco, o árido umedece-se.

Fontes: elaborado com base em Anaximandro (1991) e Bosi (1997).

A ideia de que a história é composta de ciclos é antiga. Muitos povos, incluindo egípcios, chineses, babilônios, hindus, maias e gregos, observaram recorrências em fenômenos astronômicos. Essas primeiras observações foram frequentemente relacionadas a sistemas de calendários e, também, foram a base para esquemas posteriores escritos de ciclos cósmicos e históricos em várias partes do mundo.

Foram o Sol e a Lua, os vigias do mundo, ... que revelou aos homens que as estações do ano giram e que há um padrão constante nas coisas e uma sequência constante. [LUCRÉCIO<sup>50</sup>, tradução nossa de citação contida em HENINGER (1974), p. 217].

Para que o homem entenda os inefavelmente vastos sistemas construtivos biocósmicos que se movem e dão forma aos processos vitais que o cercam, é necessário ele reduzir suas imensas e esmagadoras complexidades a algum padrão simples, harmonioso e, portanto, compreensível. Para esse fim, sua mente, em sua tentativa de tornar inteligível o que é aparentemente incompreensível, reúne os fragmentos de informações fenomenológicas obtidas da vida no plano físico e as submete a suas funções racionais e intuitivas, onde generalizadas, abstraídas e sujeitas às leis da contiguidade e associação, eles são sintetizados e emergem como um sistema gerenciável de conformidade – em resumo, um padrão. Nesse modelo de tradução do aparente universo caótico para a concepção de uma realidade harmoniosamente ordenada, os infinitos detalhes de nossa experiência são reduzidos a um número simples de informações que podemos processar e reter facilmente. Chama-se esse modelo de paradigma, isto é, o padrão arquetípico que repete em termos universalmente compreensíveis a construção da nossa experiência.

<sup>50</sup> Tito Lucrécio Caro (c. 94 a.C.–c. 50 a.C.) foi um poeta e filósofo romano que viveu no século I a.C.

No antigo mundo helênico-oriental, período correspondente aos três séculos antecedentes ao início da Era Comum, a crença mais difundida sobre a estrutura biocósmica do universo era a crença de que tudo estava vinculado por leis imutáveis da periodicidade temporal. Essas leis representavam a *vera causa* da regularidade universal evidente em todos os fenômenos sensíveis. Eles foram os termos em que a humanidade antiga concebeu a si mesma, seu mundo e seus destinos. A jornada dos orbes celestes, as pulsações das mudanças sazonais e os numerosos ciclos intermediários de sono e vigília dos animais, o crescimento e o declínio dos seres vivos, obrigaram os antigos a se verem como seres pulsantes imersos em um mundo sempre oscilando entre os polos do infinito e da finitude, cujos arcos ascendentes foram marcados pelos fatos de nascer e crescer; e os arcos descendentes carimbados com as terríveis tragédias do definhamento e da morte.

A construção universal derivada da observação desses processos rítmicos celestes e da vida foi aquela em que a estrutura ordenada do cosmos e sua dinâmica constituinte eram vistas como desenvolvimentos eternos de perturbação e restauração alternadas. Esse conceito implica uma oposição ontológica de forças – um grande “conflito cósmico”. Numerosas regularidades terrestres confirmaram essa noção: todas as manhãs, o Sol “derrotava” as trevas, apenas para ser “vencido” a cada noite; a chuva e a seca sempre travavam uma “infindável luta pela supremacia”; e a expiração de cada vida era vista como a “vitória” da morte; cada nascimento é sua “derrota”. O resultado dessa dialética eterna foi uma explicação palpável não apenas para o mundo dos vivos, mas também o sustentáculo da superestrutura cósmica, vivificada e limitada pela necessidade de sua própria compulsão interna de girar eternamente sobre si mesma, retornando incessantemente ao seu próprio tempo de início, o ponto de partida para o presente perceptivo (NELSON, 1980).

Até onde pode-se julgar, ao ver o mundo como um processo basicamente estático de coeficientes cíclicos, o homem antigo, por meio de uma propensão quase universal, refletia sua compreensão da aparente imutabilidade da condição humana. Afinal, além de ocorrências excepcionalmente desastrosas de guerra, fome ou praga, o mundo dele era eminentemente estável e até rigidamente fixo. Os únicos desvios de alguma importância real foram os intervalos modulados do próprio ciclo de vida, em virtude dos padrões solares e lunares que determinaram as fases passantes do ano agrícola. Nele residiam as fortunas de campos, rebanhos e famílias, os elementos realmente importantes da vida humana. Uma visão de mundo como essa poderia ser reconfortante e tranquilizadora ou deprimente, dependendo da percepção experiencial do indivíduo sobre as forças da vida em ação ao seu redor. Por exemplo, um dos grandes refletores da psique nacional egípcia era o sentimento de estarem preenchidos com uma força mundial principalmente benéfica e até magnânima. A relativa previsibilidade das forças naturais em ação

no Egito serviu para confortar e tranquilizar seus habitantes e aliviar suas ansiedades normais resultantes dos caprichos comuns da vida cotidiana. Existem boas razões por trás dessa atitude.

#### 1.6.2.1. Mitologia Egípcia – Mito de Osíris

Associada aos ciclos climáticos, talvez a primeira história possa ser resgatada do Egito antigo, cuja civilização surgiu no ano 3.100 a.C. sob condições climáticas favoráveis à elevada fertilidade e fartura de alimentos:

O clima do Egito facilitou a vida da humanidade; o tempo não lhe proporcionou nenhuma queixa e os campos produziram ricas colheitas durante todo o ano; o gado nunca teve falta de pasto; o rio estava cheio de peixes em abundância [ERMAN; TIRARD, 1894, p. 13; tradução nossa].

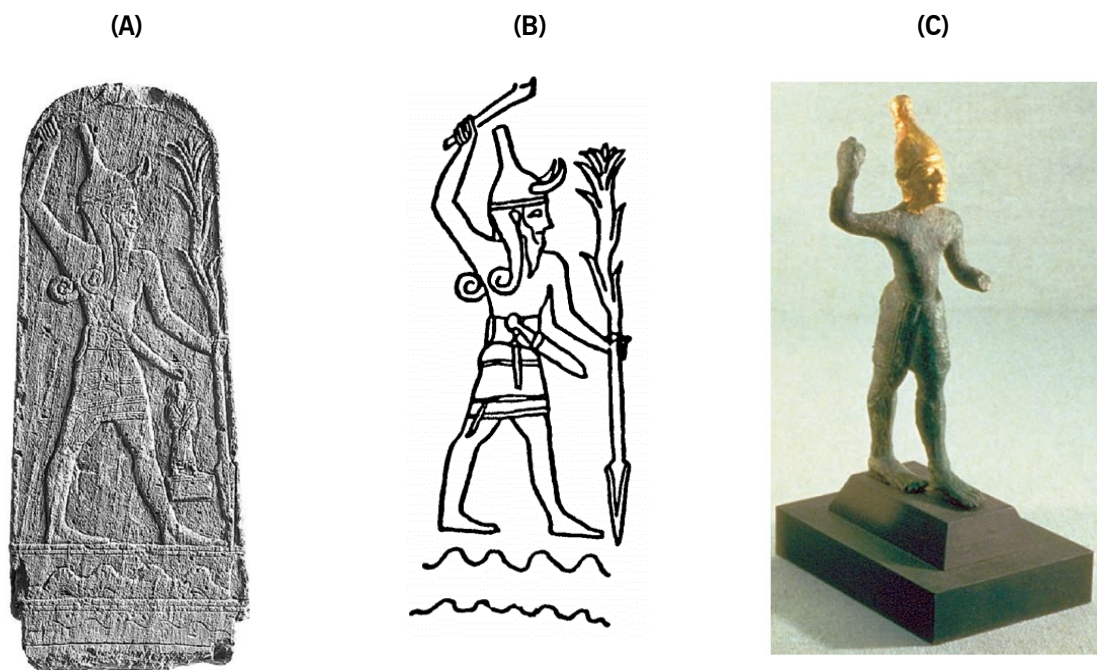
Os idílicos aspectos da vida contribuíram para a crença dos egípcios de que o tempo e os cosmos seriam reatualizados todas as manhãs com o renascimento triunfante do Sol “ressuscitado”, o qual anualmente também ordenava a vivificante inundação do Nilo. Esses dois simples eventos prometeram ao Egito uma continuação ininterrupta da fecundidade, cuja abundância de plantas e animais enriqueceram a vida ao longo das margens luxuriantes do Nilo.

Nesse contexto, em torno do ano 2.400 a.C., surgiu a forma básica do *Mito de Osíris*. Como o mais elaborado e influente da mitologia egípcia antiga, o mito osiriano representava a crença de que os coeficientes lunares e solares determinam as três estações egípcias brotadas pelo ciclo do rio Nilo: inundação, semeadura e colheita. Assim, a concepção de tal mito conduzia à importante associação da imutável previsibilidade do circuito solar-osiriano. Portanto, na percepção egípcia de seu ambiente geográfico e meteorológico, os ciclos de manutenção e preservação da vida em ação no Egito, especialmente os ritmos do Sol, da Lua e do rio Nilo, eram confiáveis, benignos; quase sempre favoráveis e raramente destrutivos. No cenário mítico de Osíris, nota-se claramente a tendência predominante do Egito de ver todos os aspectos da realidade em termos de modelos recorrentes ou arquétipos cíclicos.

#### 1.6.2.2. Mitologia Cananeia – Ciclo de Baal

Outra antiga história, resgatada a partir de escavações realizadas na década de 1920 d.C. na cidade de Ugarit, localizada em Canaã (antiga denominação da região que

atualmente corresponde a Israel) remete ao *Ciclo de Baal*, cuja origem estima-se datar em torno do ano 1.375 a.C. Segundo preconizava tal ciclo ugarítico, a representação dos conflitos do deus cananeu Baal (**Figura 7**) é, na maior parte, baseada no ciclo das estações. Em síntese, o conto diz que Baal – o deus da tempestade, da chuva e da fertilidade agrícola – governa a Terra de setembro a maio. Seu grande inimigo, Mot, o deus da aridez e da morte, suplanta Baal durante os meses de verão, apenas sendo expulso (com a ajuda de Anate, irmã-consorte de Baal) na chegada do outono, época de colheita na agricultura, que é o começo do novo ano em Canaã.



**Figura 7** – Deus cananeu Baal. **(A)** Fotografia da placa vertical (1,4 m de altura) de baixo-relevo esculpida em calcário branco, conhecida como “Baal com raio” ou a “estela de Baal”. Considerada a mais importante das estelas ugaríticas, a estela foi descoberta em 1932 no antigo reino de Ugarit, no noroeste da Síria, a cerca de 20 metros do Templo de Baal. Atualmente, a estela encontra-se em exibição no Museu do Louvre, em Paris. **(B)** Iconografia exibe os detalhes obtidos a partir da estela, onde Baal é representado segurando um raio como uma de suas principais armas. O título de Baal em Ugarit é “Baal-Hadad”, sendo que “Haddu” é entendido como “trovão”, o que demonstra sua função e domínio no cosmos. **(C)** Estatueta (12 cm) de bronze coberta com folha de ouro (que agora cobre apenas a cabeça), representando Baal de pé, na posição de um guerreiro que está pronto para atacar. Fontes: (A) Annie (2019); (B) Green (2003); (C) Yon (2006).

A marca diferenciadora do padrão cíclico-sazonal do mito de Baal é a natureza aparentemente isocrônica das fases<sup>51</sup> de fertilidade e esterilidade agrícola, como apareciam em

<sup>51</sup> Conforme Nelson (1980), o aspecto pendular, ou padrão cíclico, do clima e sua relação com a fertilidade geral da vida, embora não totalmente desprovido de aspectos dualistas, é caracterizado não pela oposição de poderes supremos, mas pela concepção do mundo em termos simples de um

Canaã. Enquanto acreditava-se que, enquanto os poderes benevolentes fossem propiciados exatamente de acordo com a fórmula ritualística apropriada, o mundo renasceria anualmente. Todavia, essa certeza sobre a regularidade da natureza não foi apreciada pelos habitantes de Canaã. Eles não viam garantias na regularidade dos padrões naturais, pois as condições meteorológicas prevalentes naquela região estavam entre as mais inconfiáveis de todos os lugares. Em Canaã, as estações do ano não eram claramente definidas por variações acentuadas do clima: a chuva nem sempre se materializava na estação das chuvas; nem sempre havia orvalho suficiente no verão; os gafanhotos podiam atormentar a terra e devorar as colheitas; e uma série de anos ruins eram a principal catástrofe natural contra a qual os cultos à fertilidade eram dirigidos. Em resumo, Baal nem sempre triunfava sobre Mot.

### 1.6.2.3. Mitologia Grega – Deus Aion

Como representante da cultura grega antiga, de sua mitologia destaca-se o simbolismo representado por Aion, deus do tempo e da eternidade. Aion expressa o ritmo eterno que se repete em todos os microcosmos cíclicos do mundo natural, abstraindo o ciclo ordinal temporal da natureza para o reino do tempo transcendente, ilimitado ou infinito. Ao reunir todas as potências cósmicas por meio de uma representação circular (**Figura 8**) do tempo, Aion agrega, em um mesmo arco cíclico, o nascimento, o crescimento, a decadência e a morte, seguida do renascimento. Juntamente com outros coeficientes quaternais (os quatro elementos, ventos etc.), Aion também personifica as quatro estações, cujas fases são originárias dos ciclos celestes. A ligação de Aion aos grandes ritmos da natureza pode ser obtida a partir da seguinte descrição:

---

processo de reiteração mecânica: um conceito derivado, obviamente, dos processos de deterioração e renovação aparentes em toda parte. Nesse modelo, a morte (podendo aqui ser associada a períodos desfavoravelmente frios/secos, inférteis e agricolamente improdutivos) é a contingência lógica e necessária para o nascimento (de modo geral, associado a períodos adequadamente quentes/chuvosos, férteis e com abundância de alimentos), o momento da renovação e reflorescimento. Esses fatos centrais da vida foram comemorados nos ritos de iniciação dos vários cultos de fertilidade no Oriente. Tais crenças eram especialmente sensíveis aos numerosos ciclos da natureza em toda a sua multiplicidade de temas e variações. O foco devocional desses cultos eram invariavelmente deuses menores, que governavam uma área cuidadosamente limitada do mundo real como seu território, mas que cresciam em estatura com o tempo para representar todo o processo de mudança da natureza. Essas chamadas divindades são sem dúvida as figuras mais interessantes da mitologia antiga do Oriente. Segundo o citado autor, o representante mais antigo do tipo é provavelmente o Dumuzi, o deus sumério da natureza, mas deuses semelhantes são encontrados em toda a religião popular oriental: Abu (deus sumério das plantas), Ninurta (deus mesopotâmico da agricultura), Ningsizida (deidade da vegetação), Eshmun (deus fenício da cura), Ninazu (deus sumério da cura), Assur (deus assírio do Sol), Hadad (deus acadiano da tempestade e da chuva), Átis (deus grego da vegetação) e, sobretudo, os equivalentes ao próprio Dumuzi – tendo como equivalente o Tamuz bíblico e o Adônis na mitologia grega, cuja história eclipsou outras variantes do mito. Todos são deuses que morreram para renascer e, ao fazê-lo, representaram o ciclo anual de fertilidade.

O circuito das estrelas; o sol circulando; o ciclo resultante das estações com seus ventos variáveis; a terra que é rejuvenescida nas estações do ano – tudo isso junto é Aion, o deus do tempo, que se manifesta em todas essas mudanças cíclicas, cuja sustentação provida pela lei cósmica desperta no homem um sentimento de absoluta dependência de um universo girando em si mesmo de acordo com grandes leis eternas [LEISEGANG<sup>52</sup>, 1955, apud NELSON, 1980, p. 85; tradução nossa].



**Figura 8** – Parte central de um grande mosaico de piso, construído entre 200-250 d.C. em uma vila romana em Sentinum, hoje conhecida como Sassoferrato, na região de Marche, Itália. Aion é representado em um arco celeste decorado com signos zodiacais, entre uma árvore verde e uma desfolhada (verão e inverno). Diante dele está a mãe-terra Tellus (equivalente à deusa grega Gaia), com quatro filhos personificando as estações do ano. Em outras versões da imagem de Aion, o arco é ilustrado por uma serpente mordendo sua cauda – cujo simbolismo é conhecido como *ouroboros*<sup>53</sup> – que representa tanto a natureza cíclica do ano, quanto o universo e sua infinitude. Fonte: Aion (2007).

Assim, Aion, ao interpenetrar e unir organicamente o fluxo de tempo das naturezas inferior (da Terra) e superior (dos astros), adotou o mesmo paradigma cíclico transcendente a todos os eventos fenomenológicos. O circuito das estações, a sucessão do dia e da noite e uma ampla gama de outros eventos periódicos, ocorrências e padrões repetitivos, resultaram de suas

<sup>52</sup> LEISEGANG, H. *The Mystery of the Serpent*. In: CAMPBELL, J. (ed.) *Pagan and Christian Mysteries*. New York: Harper Torchbooks, 1955, p. 26-27.

<sup>53</sup> Ver nota de rodapé n. 281.

emanações temporais ordinais. Dessa maneira, a cosmogonia grega apresentou uma visão sofisticada que inter-relaciona o tempo sazonal terrestre com o tempo e o espaço cósmico, que podem ser lidos dos pontos de vista macrocósmico e microcósmico.

Pelo exposto a respeito dos antigos pensamentos e crenças mitológicas, depreende-se que, ao longo da história da humanidade, em diferentes culturas, de épocas distintas, a concepção do conceito de ciclos naturais e climáticos derivou, basicamente, da observação da repetitividade dos fenômenos em seu ambiente. Assim, dois modelos fenomenológicos recorrentes formaram a base da ideia dos ciclos da natureza: a renovação sazonal do clima, e a regularidade do curso circular do Sol, da Lua e das estrelas.

### 1.6.3. Estudos Paleoclimáticos

Estabelecer as datas das alterações climáticas é um elemento-chave na investigação do clima no passado. Para determinar a idade dos episódios climáticos, é necessário estabelecer uma cronologia dos eventos. Utilizando-se de um conjunto de métodos de datação, a *Geocronologia* é a ciência que permite determinar a idade de rochas, fósseis, sedimentos e os diferentes eventos da história da Terra, incluindo a cronologia das variações do clima. Carneiro, Mizusaki e Almeida (2005) apresentam uma revisão dos fundamentos dos principais métodos<sup>54</sup> de estudo do passado da Terra.

As primeiras abordagens de datação do passado estavam intimamente associadas com tentativas de estabelecer a idade da Terra. Alguns dos escritos mais antigos sobre o tema encontram-se nas literaturas clássicas, sendo que a maior parte das escritos gregos empregava o conceito de um tempo infinito. Tal posição contrasta marcadamente com o período pós-renascentista europeu (início do séc. 17), onde o pensamento bíblico colocava a criação do mundo em torno de 6.000 anos atrás e quando o fim do universo foi previsto em algumas centenas de anos. Durante os séculos 18 e 19, no entanto, com o desenvolvimento do pensamento uniformitarista em Geologia, iniciou-se uma tendência de proposições e reconhecimento de prazos mais longos para a formação da Terra e para a longevidade de funcionamento dos processos geológicos, uma visão encapsulada por famosa observação de James Hutton – na obra *Teoria da Terra*, de 1788 – de que “*não encontramos nenhum vestígio de um começo e nenhuma perspectiva de um fim*” (WALKER, 2005). A descoberta do Tempo Geológico por James Hutton, no final do séc. 18, anunciou uma revolução científica e cultural. Do ponto de vista cultural, a

---

<sup>54</sup> Como obra de referência em técnicas de datação, indica-se o trabalho de Walker (2005).



concepção de Tempo Geológico é uma das ideias “mais relevantes na história do pensamento humano”, segundo Gould (1987), Cervato e Frodeman (2012, 2014).

Uma enorme dificuldade dos cientistas de antes do séc. 20 era não ter bases para determinar com precisão a passagem do tempo geológico. Nesse clima de incerteza cronológica, o geólogo e zoólogo suíço Louis Agassiz [1807-1873] apresentou sua ideia revolucionária<sup>55</sup> de uma “Grande Era do Gelo”, que marcou o nascimento da Paleociência moderna. A noção, proposta pela primeira vez em 1837, foi inicialmente recebida com certo grau de ceticismo pelos geólogos, mas a ideia de não somente uma única glaciação, mas de várias glaciações, rapidamente ganhou espaço. Até o início do séc. 20, a maioria dos geólogos estava aderindo à visão de que quatro grandes episódios glaciais afetaram as paisagens da Europa e América do Norte, embora o embasamento de datação desses eventos permanecesse incerto. Uma das primeiras tentativas de estabelecer uma cronologia glacial-interglacial foi conduzida pelos geólogos Albrecht Penck e Eduard Brückner, usando a profundidade de intemperismo e intensidade de erosão na região alpina do norte da Europa para estimar a duração dos períodos interglaciais. Com essa base, uma idade de 60.000 anos foi designada para o último período interglacial e uma idade de 240.000 anos para o penúltimo período interglacial. Uma abordagem alternativa de Milutin Milankovitch, usando o calendário astronômico com base em variações observadas na órbita e no eixo da Terra, chegou a um resultado semelhante, porém mais preciso e incluindo glaciações mais antigas (WALKER, 2005; REBOITA; PIMENTA; NATIVIDADE, 2015).

Na época em que a cronologia glacial estava sendo desenvolvida para os Alpes Europeus, as primeiras tentativas de desenvolver uma escala de tempo para o último degelo usando lâminas ou seqüências de sedimentos em camadas foram interpretadas como reflexo de ciclos anuais de sedimentação. Essas camadas, conhecidas como *varves*, ainda são utilizadas na cronologia nos dias de hoje. Alguns dos primeiros estudos foram feitos sobre os sedimentos em lagos suíços e produziu estimativas de entre 16.000 e 20.000 anos desde o último máximo glacial, resultados que não são muito diferentes dos resultados de datações mais recentes. Um trabalho formidável em seqüências de varves foi realizado na Escandinávia, onde o geólogo suíço Gerard Jacob De Geer [1858-1943] desenvolveu a primeira cronologia glacial de alta resolução do mundo em relação à geleira da Fino-Escandinávia. Assim, a cronologia por varves foi a primeira técnica de datação que forneceu estimativas realistas e relativamente precisas do tempo (WALKER, 2005).

---

<sup>55</sup> Ao observar a Cordilheira do Jura – uma cadeia de montanhas situada ao norte dos Alpes, na França, Suíça e Alemanha – Agassiz constatou que blocos de rochas alpinas espalhadas pelas encostas e cumes haviam sido transportados para lá devido à expansão de geleiras no passado. A interpretação de Agassiz sobre esses detritos carregados pelo gelo (conhecidos na Geologia como *morenas*, termo derivado do inglês *moraine*) decorreu das fortes semelhanças entre as características dessas paisagens e as condições atuais nos glaciares alpinos. Assim, Agassiz foi pioneiro em um importante aspecto da reconstrução paleoclimática: observar as condições ou lugares atuais como análogos para as condições passadas ou paisagens antigas. Os resultados de Agassiz impulsionaram a *Glaciologia* (o estudo de fenômenos glaciais) em todas as partes do mundo.

No começo do séc. 20, foi desenvolvida outra técnica de datação que ainda é amplamente utilizada na paleociência atual: a datação por anéis de árvores, ou *Dendrocronologia*. Pesquisas sobre anéis de árvores têm uma longa história e a relação entre os anéis das árvores e o clima tem intrigado os cientistas desde a Idade Média. De fato, alguns dos primeiros escritos sobre esse assunto podem ser encontrados em trabalhos de Leonardo da Vinci. Os fundamentos da dendrocronologia moderna, no entanto, foram formulados pelo astrônomo norte-americano Andrew Ellicott Douglass [1867–1962], que foi o primeiro a vincular os princípios da dendrocronologia com pesquisas históricas e com a Climatologia (WALKER, 2005).

O avanço mais significativo na Geocronologia, no entanto, sucedeu durante e imediatamente após a Segunda Guerra Mundial, com a descoberta de que o decaimento de certos elementos radioativos poderia constituir uma técnica de datação. O trabalho pioneiro do físico-químico norte-americano Willard Frank Libby [1908-1980] e seus colegas levou ao desenvolvimento de datação por radiocarbono em 1949. Durante os anos 1950 e 1960, outros métodos radiométricos foram desenvolvidos, incluindo técnicas de datação baseadas em séries de urânio e potássio-argônio. A crescente valorização dos efeitos sobre os minerais e outros materiais expostos à radiação levou ao desenvolvimento de outra família de técnicas que inclui as datações por termoluminescência, por traços de fissão e por ressonância magnética eletrônica. No final dos anos 1960 e 1970, os avanços na Biologia possibilitaram utilizar mudanças moleculares *post-mortem* em estruturas de proteínas como uma técnica de datação (Geocronologia de aminoácidos), enquanto os notáveis desenvolvimentos na tecnologia de perfuração conduziram à obtenção de longas sequências de núcleos de sedimentos oceânicos e de núcleos de gelo das calotas polares (WALKER, 2005).

As duas últimas décadas do séc. 20 foram marcadas por uma série de inovações tecnológicas que implicaram não só uma maior expansão na faixa de técnicas de datação, mas também a melhorias significativas na precisão analítica. Um grande avanço foi o desenvolvimento da espectrometria de massa com aceleradores, que não só revolucionou a datação por radiocarbono, mas também tornou possível a técnica de datação por cosmonuclídeos. Nas últimas duas décadas também foram obtidas cronologias de alta resolução em núcleos de gelo na Groenlândia (séries GRIP e GISP2) e na Antártida (séries Vostok e EPICA) (WALKER, 2005).

Os vários desenvolvimentos e inovações significam que os cientistas agora têm à disposição um portfólio de métodos de datação que não poderia ter sido sonhado apenas uma geração atrás, e que são capazes de datar eventos em escalas de tempo desde poucos anos a milhões de anos.

Antes de 1970, muitas pesquisas paleoclimatológicas focaram principalmente em reconstruções climáticas que descreviam o que aconteceu, com estudos envolvendo uma variedade de dados oriundos de diferentes tipos de testemunhos. No início de 1970, o

desenvolvimento de computadores promoveu um novo tipo de paleoclimatologista especializado na análise de grandes conjuntos de dados paleoclimáticos. Os primeiros estudos quantitativos aplicavam funções de transferência para converter variáveis de testemunhos em variáveis climáticas, correspondência que envolvia também a calibração com dados climáticos modernos. A revolução do computador também criou uma perspectiva paleoclimática para lidar com modelos de circulação geral. Ao contrário dos dados de testemunhos paleoclimáticos, que reconstróem de forma independente “*o que aconteceu*”, os modelos passaram a explicar “*porque aconteceu*” e, portanto, se tornaram uma ferramenta extremamente útil para testar hipóteses sobre as causas de mudanças climáticas, comparando os resultados de simulações com aqueles derivados de dados de testemunhos (MOCK, 2006).

Sozinhas, as reconstruções não explicam as mudanças observadas, logo, os modelos são necessários para entender os processos envolvidos. Assim, a reconstrução e a modelagem paleoclimáticas podem proporcionar uma linha de base de longo-prazo para compreender as condições climáticas atuais e futuras.

#### **1.6.4. Ciclos Climáticos**

Desde os primórdios, a humanidade tem sido fascinada e afetada pelo clima. As flutuações do clima têm desempenhado um papel importante na vida humana, determinando repetidamente momentos ora de abundância de alimentos ora tempos de fome. Como a vida dos povos agrícolas primitivos estava ligada ao ciclo das estações chuvosas e secas, o homem pré-histórico precisava observar o tempo para saber quais eram as melhores épocas para realizar a colheita e a semeadura.

No início do séc. 19, ainda acreditava-se amplamente que o mundo teria sido criado em 4004 a.C., e que a sua superfície havia sido moldada por eventos catastróficos tais como a inundação bíblica de Noé. Diante de tal curto espaço de tempo para a história da Terra, e dada a invocação do dilúvio para explicar as mudanças no registro sedimentar, não é de estranhar que, naquela época, havia poucos motivos para acreditar que o clima da Terra tinha sofrido grandes mudanças através de um prolongado período de tempo. No entanto, conforme os geólogos começaram a examinar os registros sedimentares e paleontológicos, tornou-se aparente a evidência de que a Terra possuía uma história bem mais longa. A ideia de que o clima e outros aspectos ambientais haviam flutuado no passado resultou inicialmente a partir da descoberta de que as geleiras alpinas e norueguesas haviam anteriormente se estendido para além dos seus limites atuais. Após a década de 1820, o conceito da “Idade do Gelo” tornou-se aceito por mais e mais geólogos, nomeadamente por Louis Agassiz. Por volta de 1860, era evidente que a idade de gelo do Pleistoceno consistia-se de várias glaciações, e Penck e Brückner introduziram seu modelo altamente influente a respeito dos ciclos glaciais (GOUDIE, 2005).

Burroughs (2003) relata que uma das primeiras citações históricas sobre variação periódica do clima está registrada na Bíblia, em Gênesis 41:53-55:

Por fim, os sete anos de abundância terminaram. E iniciaram-se os sete anos de fome tal como José previra. Começou a haver falta de alimentos em todas as terras circunvizinhas, mas no Egito mesmo havia em suficiência.

A história bíblica do sonho de José, precisamente predizendo que sete bons anos seriam seguidos por sete anos de fome, bem como descrevendo as ações tomadas para armazenar o excedente dos bons anos para atender à escassez dos maus anos, mostra o enorme benefício que pode advir das previsões exatas das oscilações climáticas regulares e seu impacto sobre as colheitas. O episódio bíblico esclarece porque as flutuações regulares no clima têm fascinado os observadores do clima por tanto tempo.

Além da citação no Livro de Gênesis, o filósofo Teofrasto [372–287 a.C.], de Eresus (cidade da ilha grega de Lesbos), fez, no séc. 4 a.C., a primeira observação registrada de ciclos do tempo. Ele estudou na Academia de Platão e, após a morte deste, tornou-se assistente de Aristóteles. Juntos, estudaram Meteorologia e observaram que “os finais e os inícios do mês lunar estão sujeitos a tempestades”. Mais de 2.000 anos mais tarde, ainda continua o debate sobre a extensão dos efeitos lunares sobre o clima (BURROUGHS, 2003).

As preocupações com as mudanças climáticas irreversíveis e desfavoráveis não são novas e, portanto, sempre houve discussões sobre suas possíveis causas e consequências. A antiga arte de definir padrões do tempo tem feito parte do folclore e ditados populares. Frequentemente, esses padrões estão preocupados com variações de mês a mês ou entre estações do ano, mas raramente abrangem variações anuais. Há pouca evidência de que, antes da Filosofia Moderna (séc. 17), tenha havido qualquer tentativa de quantificar as variações do clima. Uma exceção interessante parece ser o ciclo de 35 anos<sup>56</sup>, que, segundo Francis Bacon [1561–1626], já era objeto de investigação nos Países Baixos no início do séc. 17:

Dizem que se observa nos Países Baixos que a cada cinco ou trinta anos o mesmo tipo de sucessão de anos e de clima se repete; como grandes geadas, grandes chuvas, grandes secas, invernos quentes, verões com pouco calor e assim por diante; e eles o chamam de “primordial”. É uma coisa que eu prefiro mencionar, porque, computando de trás para frente, encontrei alguma concordância (BACON, 1908, p. 265; tradução nossa).

---

<sup>56</sup> Conforme os Ciclos de Brückner, a ser tratado no item “1.6.4.2”, p. 110.

Conforme relata Miall (2010), ideias sobre a periodicidade ou repetitividade da história da Terra já existiam desde o séc. 18. Sobre o estudo da periodicidade nas Geociências, Dott (1992) esclarece a essência da motivação:

Por que a periodicidade pode ser um opiáceo tão poderoso para os geólogos? Obviamente, a noção de periodicidade emana naturalmente por meio da experiência humana universal com os ciclos diurnos, das marés e das estações do ano. E tem raízes antigas na visão de mundo Greco-Aristotélica de que tudo na natureza é cíclico. A resposta deve estar fundada mais diretamente, no entanto, no apelo psicológico inato de ordem e simplicidade, os quais são fornecidos por padrões ritmicamente repetitivos. Para os geólogos, o apelo instintivo de periodicidade constitui uma extensão sutil do princípio da uniformidade, que por sua vez é um caso geológico especial de simplicidade ou parcimônia (DOTT, 1992, p. 13).

Uma breve retrospectiva sobre a origem dos dois principais ciclos climáticos, ciclos de Schwabe e ciclos de Milankovitch, além dos pouco conhecidos ciclos de Brückner, introduzirá a noção de que as marcas dos movimentos cíclicos na evolução de vários processos biogeoquímicos oceânico-atmosféricos e suas ligações físicas representam, em diferentes escalas de tempo, um dos assuntos mais intrigantes e fascinantes das Geociências.

#### 1.6.4.1. Ciclos Solares de Schwabe<sup>57</sup>

Desde o final do séc. 18, quando o conhecimento com base científica começou a substituir as visões místicas e religiosas que prevaleceram durante séculos, têm ocorrido debates científicos relativamente permanentes sobre variações no clima. Em estudos mais científicos, a primeira tentativa de explicar as variações climáticas foi efetuada pelo astrônomo alemão William Herschel [1738–1822] no início do séc. 19. Ele propôs que as mudanças na atividade do Sol podiam influenciar o clima, porém, foi o trabalho de outro astrônomo alemão que realmente impulsionou o tema dos ciclos solares e o clima. Em 1843, Samuel Heinrich Schwabe [1789–1875] descobriu que o número de manchas variava de forma regular, previsível, levantando a hipótese de o clima poder variar com o mesmo padrão (BURROUGHS, 2003).

O astrônomo amador Schwabe, nascido em Dessau, perto de Berlim, estudou Farmácia na Universidade de Berlim, onde se interessou por Astronomia e Botânica. Em 1812, ele estava no comando da farmácia da família em sua cidade natal. Resultado de um prêmio na loteria, Schwabe obteve seu primeiro telescópio em 1825, a partir de quando começou a dedicar o tempo livre na

---

<sup>57</sup> Baseado em Richardson (1946).

observação do céu. Originalmente, ele começou a observar o Sol após o conselho de um amigo que o convenceu de que seus trabalhos poderiam ser recompensados com a descoberta de um planeta próximo a Mercúrio. Mas Schwabe ficou tão fascinado pelas manchas em constante mudança sobre o disco solar que a sua intenção original foi logo esquecida. Em 1826, ele comprou um telescópio mais poderoso e iniciou as suas observações sobre as manchas solares. O *hobby* rapidamente tomou conta de sua vida; em 1829, ele vendeu a farmácia da família para dedicar-se exclusivamente à busca de sua ambição: encontrar Vulcano, um planeta hipotético entre Mercúrio e o Sol.

Schwabe apontava seu telescópio para o Sol todos os dias em que este estava visível – ou seja, sem nebulosidade – na tentativa de observar o planeta transitando pela superfície solar. O problema era que o Sol possuía manchas solares e estas poderiam ser facilmente confundidas com o planeta ilusório. Schwabe decidiu desenhar essas manchas solares de modo que ele não se confundisse com o planeta que ele estava procurando. Em 1843, após 17 anos de observações diárias, Schwabe deve ter ficado extremamente desapontado por não ter avistado, agora obviamente, o planeta inexistente. No entanto, ele tinha milhares de desenhos e, ao estudá-los, percebeu que as manchas solares pareciam ter um ciclo: a cada dez anos, o número de manchas solares atingia o seu máximo e depois começava a diminuir gradualmente.

Em 1838, Schwabe publicou o seu primeiro conjunto de observações, depois de ter percebido o máximo de 1828, o mínimo de 1833 e o máximo de 1838. Certamente ele devia ter começado a suspeitar de que sua investigação estava conduzindo para uma evidência de periodicidade. Mas Schwabe se contentou em publicar seus resultados, sem tentar tirar conclusões. Somente após cinco anos, em 1843, depois de ter obtido uma série uniforme de observações compreendendo duas máximas e duas mínimas, ele finalmente anunciou, timidamente, em uma breve nota no periódico da Sociedade Astronômica da Alemanha, que a indicação de periodicidade mostrada por seus resultados anteriores havia sido confirmada, e que o período era de cerca de 10 anos.

Com reticência científica habitual, Schwabe cuidadosamente omitiu a importante conclusão a partir do título de seu artigo, que foi simplesmente publicado como “Observações solares durante 1843” (SCHWABE, 1844), a partir de onde foram extraídos os seguintes trechos:

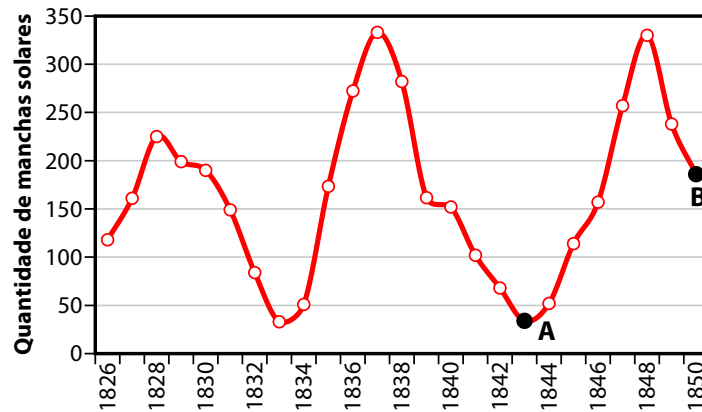
O tempo ao longo deste ano foi tão extremamente favorável que eu fui capaz de observar o Sol claramente em 312 dias, no entanto, eu contei apenas 34 grupos de manchas solares (...). A partir de minhas observações anteriores, que tenho relatado todos os anos nessa revista, *parece que existe certa periodicidade no aparecimento de manchas*, e essa teoria parece ser mais provável a partir dos resultados deste ano (...). Gostaria agora de adicionar um relatório completo de todas as minhas observações de manchas solares até o presente, no qual eu indiquei o número de dias de observação e os dias em que não havia manchas a serem observadas, bem como a número de grupos de manchas solares (SCHWABE, 1844. Grifo nosso).

Naturalmente poderia supor-se que uma importante descoberta desse tipo iria atrair imediatamente a atenção generalizada. Pelo contrário, ela não despertou nenhum comentário. Assim, os resultados passaram despercebidos pelos astrônomos da época, que estavam muito mais ocupados tentando determinar as posições dos corpos celestes do que se preocupando com a natureza dos próprios corpos. Schwabe teve, no entanto, que esperar mais oito anos até o mundo reconhecer sua descoberta. Nesse meio tempo, bastante perturbado pela total falta de entusiasmo com que o anúncio foi recebido, ele continuou contando as manchas solares, como de costume. Em algum momento nos anos seguintes, sua descoberta chamou a atenção do ilustre Alexander von Humboldt [1769-1859], naturalista, geógrafo e explorador alemão, considerado o pai da Geografia.

Somente em 1851, Humboldt usou o trabalho de Schwabe no terceiro volume de sua publicação *Kosmos*, que continha não só as observações de manchas solares de Schwabe referentes ao período entre 1826 e 1843, mas também as observações de 1844 a 1850 que nunca antes haviam sido publicadas. Desse modo, os astrônomos deram maior atenção aos resultados de Schwabe. Em 1857, o astrônomo suíço Johann Rudolf Wolf [1816-1893] compilou dados de várias fontes, incluindo os dados de Schwabe e todos os dados disponíveis de manchas solares até o ano 1610 – época das primeiras observações de manchas solares feitas por Galileu e contemporâneos – e calculou com maior precisão um período de 11,2 anos para o ciclo de manchas solares. A **Figura 9** apresenta a tabela original do resultado das observações das manchas solares realizadas por Schwabe, conforme publicado no volume III de *Kosmos*, de Humboldt; e a **Figura 10** exhibe a plotagem do gráfico correspondente aos dados originais.

Jahr.	Gruppen.	Stellenfreie Tage.	Beobachtungstage.
1826	118	22	277
1827	161	2	273
1828	225	0	282
1829	199	0	244
1830	190	1	217
1831	149	3	239
1832	84	49	270
1833	33	139	267
1834	51	120	273
1835	173	18	244
1836	272	0	200
1837	333	0	168
1838	282	0	202
1839	162	0	205
1840	152	3	263
1841	102	15	283
1842	68	64	307
1843	34	149	312
1844	52	111	321
1845	114	29	332
1846	157	1	314
1847	257	0	276
1848	330	0	278
1849	238	0	285
1850	186	2	308

**Figura 9** – Quadro-síntese original das observações de manchas solares realizadas por Schwabe. Cabeçalhos: Anos (primeira coluna); Número total de grupos de manchas solares observadas (segunda coluna); Número de dias sem manchas solares (terceira coluna); e número de dias que o Sol foi observado (quarta coluna). Fonte: Humboldt (1850).



**Figura 10** – Gráfico das manchas solares observadas por Schwabe. Os pontos **(A)** e **(B)** indicam os anos em que os dados foram apresentados nas publicações de Schwabe (1844) e de Humboldt (1850), respectivamente. Fonte: elaborado a partir dos dados da **Figura 9** (HUMBOLDT,1850).

O trabalho de Schwabe foi de importância extraordinária para a Ciência. Ele abriu o caminho para futuras investigações nas áreas de magnetismo, do clima terrestre e de taxas de crescimento de organismos. Schwabe recebeu o reconhecimento por seu trabalho de seus colegas na Inglaterra. A *Royal Astronomical Society* concedeu-lhe medalha de ouro e ele foi eleito membro da *Royal Society*. A Schwabe é concedido o crédito de uma das mais importantes descobertas da Astronomia. Astrônomos amadores muitas vezes tornam-se desanimados, achando que não há esperança de fazer uma verdadeira contribuição para a Ciência com o equipamento modesto à sua disposição. A postura humilde e persistente de Schwabe mostrou que algo novo sempre pode ser descoberto em Astronomia, não necessariamente por instrumentos mais poderosos ou deduções brilhantes, mas por fazer observações cuidadosas e sistemáticas, continuamente, ano após ano, somente movido por fascínio pelo assunto.

#### 1.6.4.2. Ciclos de Brückner<sup>58</sup>

O sucesso dos *ciclos de Milankovitch* – que afirma que os ciclos da era do gelo são reais e são resultado de forçamentos orbitais – tornou a pesquisa do ciclo climático totalmente respeitável. Esse não era o caso quando geógrafo e climatologista alemão Eduard Brückner [1862–

<sup>58</sup> Os transtridecadais *ciclos de Brückner* também podem ser referidos como *ciclos de BEL*, cujas iniciais, em homenagem, são relativas aos inventores Brückner, Egeson e Lockyer. O estudo mais detalhado deste ciclo foi realmente concebido por Brückner em 1890. O estudo de Charles Egeson [?-1903, que possivelmente também atendia pelo nome de John Joseph George], um compilador de mapas e assistente do astrônomo e meteorologista Henry Chamberlain Russell [1836–1907] no Observatório de Sidney (Austrália), foi publicado em 1889, alguns meses antes do estudo de Brückner, cobrindo um período mais curto, com uma quantidade menor de dados referidos a dados “induzidos por manchas solares”. Já astrônomo e físico inglês William James Stewart Lockyer [1868–1936] revelou, em 1901, um ciclo de 35 anos em mudanças no período de variações do número de manchas solares e, imediatamente, o comparou ao ciclo climático de Brückner. Antes de Egeson, ciclos semelhantes também foram observados como no caso dos ciclos de 35 anos de meteoros de Perseidas observados, em 1877, por Johann Rudolf Wolf [1816–1893], astrônomo e matemático suíço conhecido por suas pesquisas sobre manchas solares. Halberg et al. (2010a) analisou as três quase simultâneas descobertas em profundidade, enquanto a interessante história da descoberta e vida de Egeson foi tratada em Halberg et al. (2010b).



1927] foi o pioneiro dos ciclos climáticos na escala de décadas a séculos, durante os últimos 1000 anos, publicando há pouco mais de um século atrás. A maioria dos geólogos conhece Brückner como o coautor da obra monumental sobre a geologia da era do gelo dos Alpes publicada no início do século em colaboração com Albrecht Penck. Entre outras coisas, a obra contém as evidências então disponíveis para a expansão repetida das geleiras alpinas durante as eras glaciais, em uma época em que os ciclos da era glacial eram considerados improváveis por muitos especialistas. No entanto, muitas vezes a pesquisa realizada por Brückner não estava preocupada com a geologia alpina, mas com as evidências das mudanças climáticas em escalas de tempo centenárias da história humana, um campo que não tinha tradição na época (BERGER; PÄTZOLD; WEFER, 2002).

No final do século 19, Brückner foi contratado pelo governo russo para estudar mudanças nos níveis do mar Cáspio, que causavam desvios significativos no transporte marítimo. Brückner investigou dados meteorológicos de toda a Europa, considerando rios, lagos, colheitas e safras de uvas. Ele concluiu que havia um ciclo de 35 anos que afetava a meteorologia e, portanto, alterava os níveis do mar Cáspio (BURROUGHS, 2003).

Em 1890, Brückner publicou seu principal trabalho climatológico com o título prolixo “*Oscilações do clima desde 1700, com observações sobre as oscilações do clima desde a época diluviana*” (BRÜCKNER, 1890). O livro trouxe um novo ímpeto ao debate em curso sobre mudanças climáticas e variabilidade, que havia sido ponto de discórdia na comunidade climatológica ao longo da segunda metade do séc. 19. A postulação de Brückner de ciclos climáticos periódicos e globais de 35 anos causou um impacto grande e duradouro (LEHMANN, 2015).

A fim de sustentar suas afirmações de ciclos climáticos universais persistentes, Brückner teve que cobrir um amplo campo de evidências. Com base nas informações sobre as oscilações glaciais e as flutuações históricas dos níveis de água em corpos d’água, ele apresentou pela primeira vez um esboço geral de suas ideias em 1887. Dois anos depois, ele trouxe a coleção completa de suas evidências: ele discutiu relatórios e teorias de mudanças climáticas em todo o mundo, informações históricas anexadas sobre a frequência de invernos frios e condições de gelo em corpos d’água e informações meteorológicas correlacionadas com mudanças na produção agrícola<sup>59</sup> e a incidência de tifo (LEHMANN, 2015).

---

<sup>59</sup> Para estudar o clima do início do séc. 18 ou para investigar a variabilidade multidecadal, as séries instrumentais geralmente eram insuficientes. Logo, quando Brückner escreveu seu livro, as séries observadas eram bem curtas: mesmo as séries de temperatura mais longas possuíam apenas 130 anos de duração e as séries de precipitação eram ainda mais curtas. Para estabelecer a existência de um ciclo climático de 35 anos, Brückner teve que consultar fontes adicionais de informações climáticas, como os níveis dos lagos. Os níveis dos lagos estão relacionados ao balanço hídrico regional e, portanto, à precipitação e evaporação. No entanto, a relação é indireta. Brückner também usou descrições de invernos frios, o congelamento de rios e datas de colheita das uvas. A relação entre as datas de colheita da uva e o clima é altamente indireta porque fatores biológicos e antropogênicos podem interferir. Usando essas fontes de informação, Brückner construiu séries temporais que remontam ao séc. 16 (BRÖNNIMANN, 2015).

Em seu livro, Brückner apresentou seus diversos dados na forma de texto, tabelas e gráficos. Embora descrições detalhadas de conjuntos de dados ainda fossem a norma na escrita climatológica, Brückner também usava cada vez mais representações visuais para apresentar seus pontos de vista. Em suas tabelas de dados, ele apresentou a impressionante gama cronológica e temática de suas evidências – em um exemplo e em uma única página, apresentando seu uso de dados de datas de colheita de uvas, frequências de invernos frios e condições de gelo em rios, lagos e geleiras na Europa durante um período de quase novecentos anos (**Figura 11**) – no qual Brückner foi capaz de identificar dezenas de ciclos com período em torno de 35 anos<sup>60</sup>. Assim, ele se consagrou como um dos primeiros cientistas a reconstruir séries temporais climáticas que se estendem por várias centenas de anos no passado.

Para visualizar as oscilações climáticas e destacar sua extensão global além do continente europeu, Brückner usou gráficos de linha que mostravam os altos e baixos bastante síncronos dos ciclos climáticos em diferentes continentes e uma curva para a “o mundo inteiro” produzida pela média de dados numéricos locais (**Figura 12**). Sintetizando as variações seculares com ciclos aproximados de 35 anos, a **Figura 13** apresenta outro gráfico original de Brückner, conforme apresentado na última página de seu livro. Com o uso de gráficos de linha, Brückner também tentou demonstrar a regularidade e as características ondulatórias das flutuações (*Schwankungen*, em alemão) do clima, um termo que ele usou de forma intercambiável com a palavra “oscilações” (*Oszillationen*, em alemão) emprestada das ciências físicas.

Brückner foi alertado pela primeira vez para a possibilidade de mudança climática a partir de observações sobre a mudança dos níveis de água no Báltico, no Cáspio e no Mar Negro. As mudanças nos níveis da água pareceram seguir um padrão específico, e o ritmo das mudanças lembrava as mudanças nas geleiras dos Alpes. Em seu livro, investigando principalmente os dados de precipitação e temperatura disponíveis, terminou com a sugestão cuidadosa de uma oscilação de período de 36 anos em as condições meteorológicas globais. Ele atribuiu essa periodicidade a algum mecanismo de força solar desconhecido, mas, na época, declarou que não existia nenhuma evidência observacional para tal oscilação solar (STEHR; STORCH; FLÜGEL, 1995).

---

<sup>60</sup>Brückner apresentou vários períodos diferentes para seu ciclo, incluindo 33 anos,  $34,8 \pm 0,7$  anos e 35 anos. Em estudos modernos, os ciclos Brückner também são referidos a componentes espectrais inseridos no intervalo que corresponde a períodos entre 30 a 40 anos. Com novas evidências experimentais convincentes de tal periodicidade em processos climáticos, uma análise detalhada estendeu os períodos dos ciclos de Brückner para o intervalo entre 30 para 45 anos (HALBERG et al., 2010a, 2010b; RASPOPOV, 2000).

	dargestellt durch die Schwankungen					Dauer d. Perioden	
	der Weinerte	der Eisverhältnisse			der Gletscher	nach dem Term. der Weinerte	nach der Häufigk. kalter Winter
		der kalter Winter	der Flüsse	der Seen			
warm	—	1020—40	—	—	—	—	—
kalt	—	40—55	—	—	—	—	35
warm	—	55—65	—	—	—	—	25
kalt	—	65—80	—	—	—	—	25
warm	—	80—05	—	—	—	—	40
kalt	—	1105—30	—	—	—	—	50
warm	—	30—45	—	—	—	—	40
kalt	—	45—65	—	—	—	—	35
warm	—	65—75	—	—	—	—	30
kalt	—	75—90	—	—	—	—	25
warm	—	90—00	—	—	—	—	25
kalt	—	1200—30	—	—	—	—	40
warm	—	30—45	—	—	—	—	45
kalt	—	45—55	—	—	—	—	25
warm	—	55—70	—	—	—	—	25
kalt	—	70—90	—	—	—	—	35
warm	—	90—10	—	—	—	—	40
kalt	—	1310—25	—	—	—	—	35
warm	—	25—50	—	—	—	—	40
kalt	—	50—70	—	—	—	—	45
warm	—	70—85	—	—	—	—	35
kalt	1391—15	85—05	—	—	—	—	35
warm	1416—35	1405—25	—	—	—	45	40
kalt	36—55	25—55	—	—	—	40	50
warm	56—80	55—75	—	—	—	45	50
kalt	81—95	75—95	—	—	—	40	40
warm	96—10	95—05	—	—	—	30	30
kalt	1511—15	1505—20	—	—	—	20	25
warm	16—40	20—35	—	—	—	30	30
kalt	41—50	35—45	—	—	—	35	25
warm	51—60	45—55	—	—	—	20	20
kalt	61—80	55—70	1556—65	—	—	30	25
warm	81—90	70—90	66—85	—	—	30	35
kalt	1591—00	—	86—00	1600 <sup>1)</sup>	1595—10	20	—
warm	1601—10	—	1601—20	—	—	20	—
kalt	11—35	—	21—25	38 <sup>2)</sup>	—	35	—
warm	36—45	—	—	56 <sup>3)</sup>	—	35	—
kalt	45—65	—	1651—67	74 <sup>4)</sup>	Zunahme	30	—
warm	65—90 bz. 85	—	—	83 <sup>5)</sup>	1677—81 und	40	—
kalt	1691—05	1685—05	1702—20	1707—14 <sup>6)</sup>	1710—16	30	40
warm	1706—35	1705—30	21—35	um 1720	—	45	45
kalt	36—59	30—50	36—50	um 40	—	50	45
warm	56—65	50—65	51—70	um 60	50—67	30	35
kalt	66—75	65—75	71—90	um 80	60—86	20	25
warm	76—05	—	91—05	um 1800	um 1800	40	—
kalt	1806—20	—	1806—20	um 20	1800—15	45	—
warm	21—35	—	21—30	um 35	15—30	30	—
kalt	36—55	—	31—60	um 50	30—45	35	—
warm	56—75	—	warm	um 65	45—75	30	—
kalt	76—90	—	1861—80	um 80	75—90	35	—

<sup>1)</sup> Fuciner und Trasimener See.

<sup>2)</sup> Kaspisches Meer, doch nur hoher Stand, verglichen mit dem Stand 1715/20.

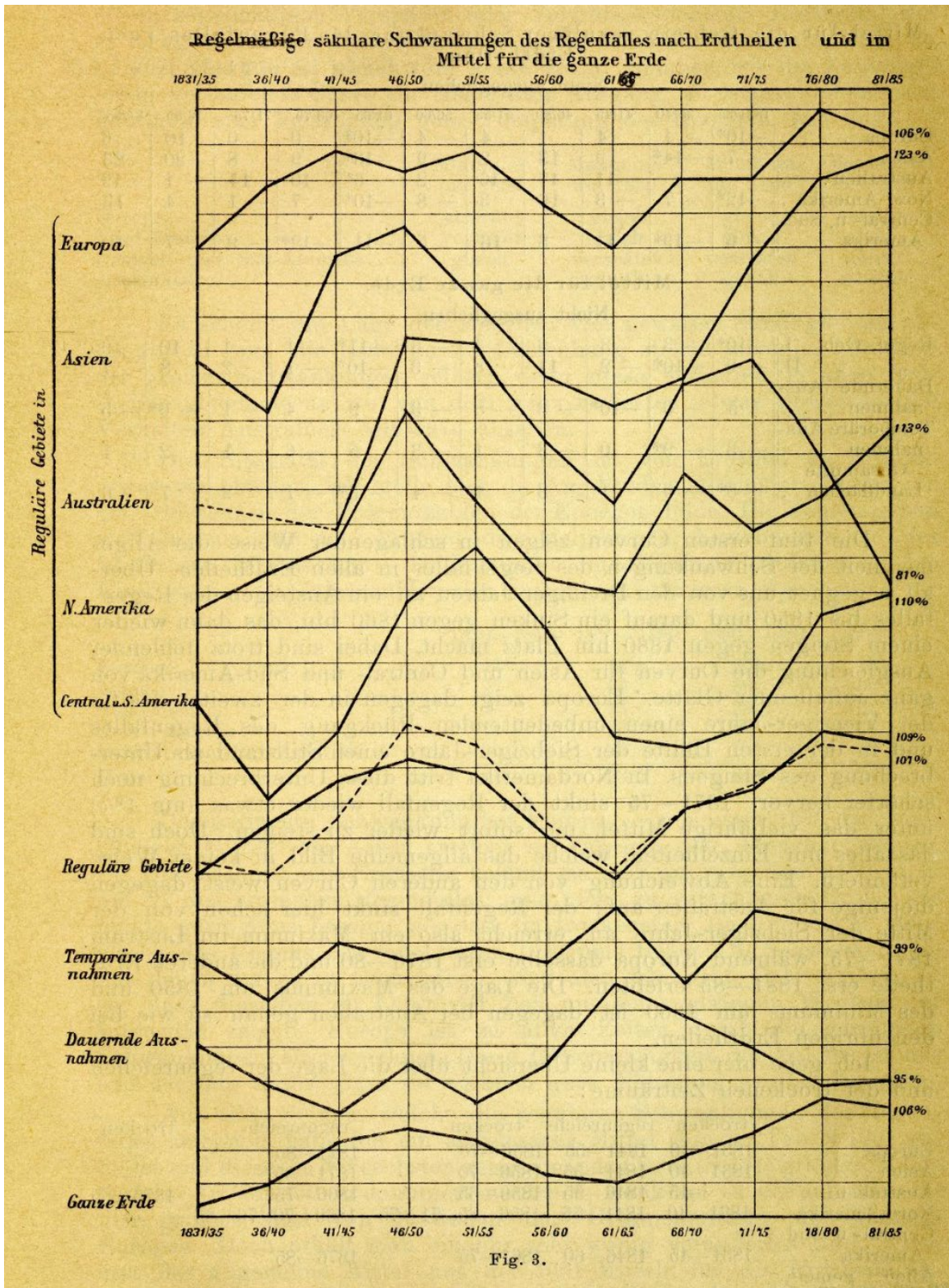
<sup>3)</sup> Fuciner See.

<sup>4)</sup> Neusiedler See.

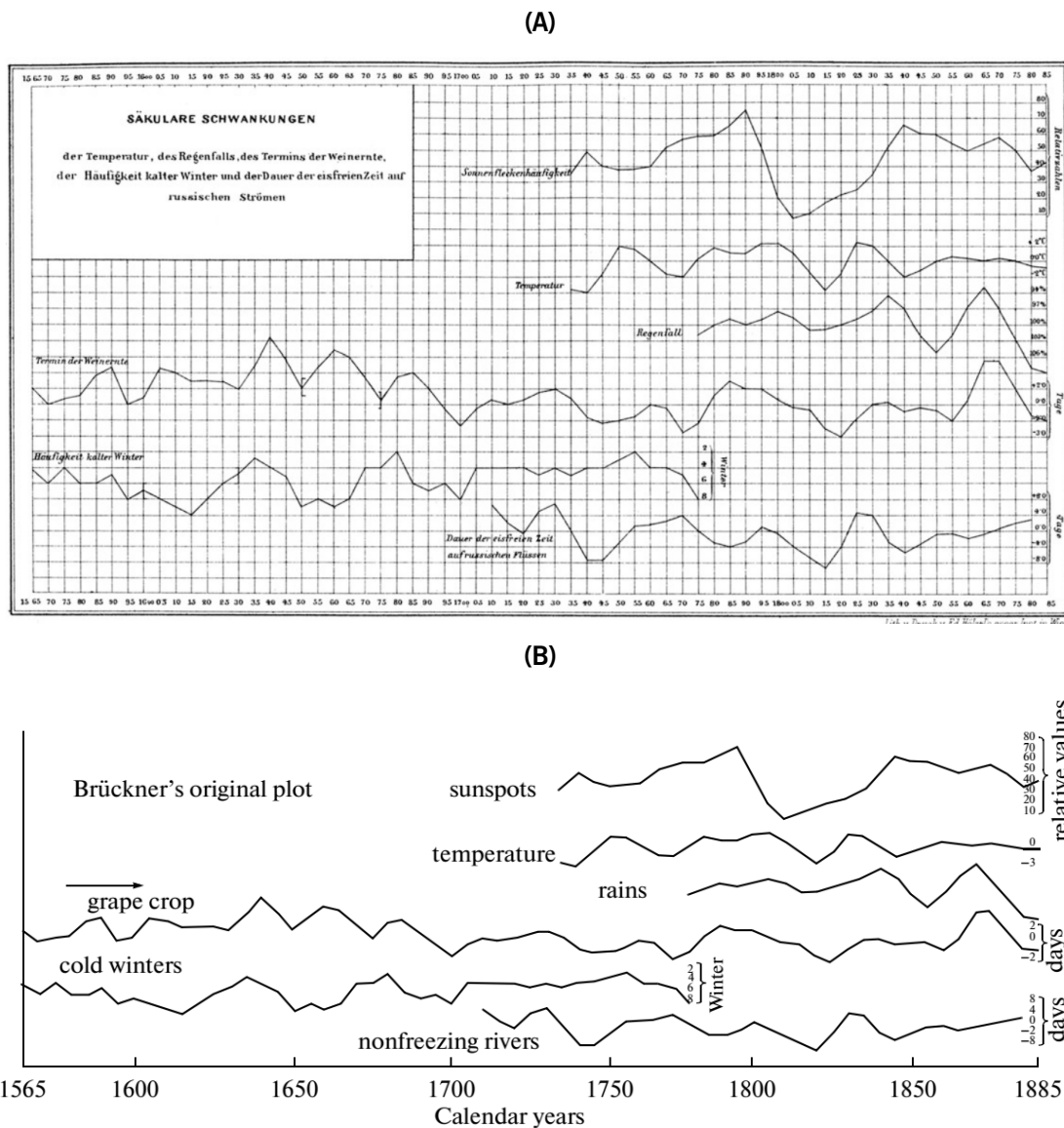
<sup>5)</sup> Fuciner See.

<sup>6)</sup> Zirknitzer See, Kaspisches Meer.

**Figura 11** – Tabela do livro de Brückner. Primeira coluna: frio/quente (*kalt/warm*); Oscilações seculares do clima representadas pelas oscilações da colheita da uva (segunda coluna), a frequência de invernos frios (terceira coluna) e as condições do gelo em rios (quarta coluna), lagos (quarta coluna) e geleiras (sexta coluna); Duração dos períodos na colheita da uva (sétima coluna) e na frequência dos invernos frios (oitava coluna), onde os números variam em torno do valor 35. Fonte: original de Brückner (1890), conforme recuperado por Lehmann (2015).



**Figura 12** – Figura do livro de Brückner. Título: “Oscilações seculares regulares da precipitação, classificadas por continente e como uma média para toda a terra”, representando dados de 1831 a 1885. Inclui séries da Europa, Ásia, Austrália, Américas do Norte, Central e do Sul. Fonte: original de Brückner (1890), conforme recuperado por Lehmann (2015).



**Figura 13** – Figura do livro de Brückner. Título: “Flutuações seculares das frequência das manchas solares, das temperaturas globais, da precipitação global, das datas de colheitas de uva na Europa, frequência de invernos frios na Europa, e a duração da ausência de gelo período dos rios russos”, representando dados de 1565 a 1885. Todas as curvas são anomalias de seu valor médio de 1851-1880. Para obtenção das séries, Brückner utilizou 280 séries de estações de temperatura e 321 séries de chuvas, as quais ele agregou regionalmente. A amplitude do ciclo de temperatura global encontrada por Brückner foi da ordem de 0,5 a 1,0 °C. **(A)** Versão original; **(B)** Versão aprimorada e traduzida para o inglês. Fontes: (A) original de Brückner (1890), pg. 325, conforme recuperado por Brönnimann (2015); (B) Halberg et al. (2010a).

Embora o livro de Brückner tenha causado agitação na comunidade climatológica, sua ousada ideia não introduziu repentinamente a questão da instabilidade e das variações climáticas na climatologia. Hoje, existe um consenso de que o clima varia em todas as escalas de tempo, incluindo de decadal a multidecadal. Durante a época de Brückner, esse consenso não existia; a crença predominante era que o clima era essencialmente estável. Durante o séc. 19, no que diz respeito à questão das mudanças climáticas, uma divisão disciplinar distinta podia ser observada:

geógrafos e geólogos estavam mais inclinados a considerar uma mudança climática persistente como uma realidade, enquanto os meteorologistas defendiam a tese de que o clima era uma constante. Na época, a maioria dos meteorologistas profissionais e muitos geógrafos da época eram bastante silenciosos sobre a questão da mudança climática. O motivo da relutância era a riqueza de hipóteses concorrentes sobre as mudanças climáticas formuladas no início do século. Os esforços anteriores apenas haviam resultado em muitas vozes contraditórias sobre a natureza da mudança climática, de modo que os climatologistas ficaram embaraçados e resistentes em se expor no aumento da cacofonia de meras opiniões. Embora durante a maior parte dos últimos dois séculos climatologistas e meteorologistas tenham se convencido e tenham considerado isso quase um axioma, que o clima global era uma constante, alguns climatologistas, geógrafos e meteorologistas do séc. 19 reconheceram que o clima não era um fenômeno constante, reconhecendo que o clima varia não apenas em escalas de tempo geológicas (1.000 de anos ou mais), mas também em escalas de tempo decadais e de século devido a processos naturais e antropogênicos (STEHR; STORCH; FLÜGEL, 1995).

Brückner estava participando de um dos debates definidores da climatologia no final do séc. 19. Mesmo na versão inicial do artigo do livro – reveladoramente intitulado “Até que ponto o clima de hoje está estável?” – Brückner enfatizou que sua contribuição deveria ser vista no contexto do debate sobre as mudanças climáticas e a variação nos tempos históricos, um debate que questionava diretamente a definição dos climas como médias estáveis e de longo prazo das condições atmosféricas. De fato, Brückner acreditava ter resolvido o problema mostrando que as mudanças climáticas aparentes unidirecionais ou progressivas que seus colegas identificaram eram simplesmente o aumento ou, alternativamente, o declínio de um ciclo climatológico. Seu trabalho, entretanto, não foi nem o início nem fim do debate, visto que a variabilidade continuou a ser um dos objetos definidores da investigação climatológica (LEHMANN, 2015).

Repercutindo em diversas outras áreas<sup>61</sup>, o trabalho de Brückner sobre o problema das mudanças climáticas foi notável e, em alguns aspectos, também único. Embora Brückner tentasse

---

<sup>61</sup> Ainda durante a carreira de Brückner, o fascínio com a noção de ciclos periódicos ainda era um empreendimento vibrante na ciência. Era generalizada ideia da periodicidade, dos ciclos e do ritmo dos mais variados processos naturais e sociais como explicação para o surgimento e decadência de fenômenos geológicos, de plantas e animais, bem como de processos sociais e econômicos. O Manual de Meteorologia de Sir N. Shaw de meados da década de 1930 apresentava uma lista de várias páginas de vários períodos encontrados em dados meteorológicos. A convicção de que “toda a história da vida é um registro de ciclos” era generalizada. Em 1941, o interesse pelo estudo dos ciclos levou à formação de uma “Fundação para o Estudo dos Ciclos” por Edward R. Dewey, que existe até hoje. (STEHR; STORCH, 2000). A busca pela evidência absoluta de tais movimentos era uma abordagem de explicação preferida e particularmente intensiva em muitas disciplinas científicas. O interesse científico na análise de ciclos, periodicidades e movimentos ondulatórios dos mais variados processos sociais e naturais era, pelo menos naquela época e até meados do século passado, muito mais intimamente relacionados às experiências cotidianas reais dos humanos como observadores da natureza e da sociedade. Ou seja, sob a ótica dos ciclos, buscava entender fenômenos como a ascensão e queda dos sistemas políticos de governo, alternância periódica de guerra e paz, fome e abundância, entre colheitas bem-sucedidas e baixos rendimentos agrícolas em regiões do mundo [o trabalho de Halberg et al. (2010a) resume bem esse tipo de abordagem]. Hoje, dada a transformação da sociedade moderna em sociedades do conhecimento, vive-se em um mundo no qual as experiências com ciclos desse tipo parecem fazer muito menos parte das experiências cotidianas. Até algumas décadas atrás, acreditava-se que o mundo era um mundo de alto risco. O mundo dos ciclos de “longo prazo” foi deixado para trás. Hoje, a sensação é que os movimentos e ciclos são mais curtos no tempo e são

antes de tudo, por um lado, provar empiricamente o fato das mudanças climáticas e determinar sua periodicidade, por outro lado ele também se esforçou para descobrir não somente as possíveis causas, mas principalmente as consequências das mudanças climáticas que observou. Como Brückner explicou essas mudanças? Na verdade, ele não conseguiu. Embora ele tenha mostrado um registro de manchas solares em suas figuras, ele descartou um efeito solar. No entanto, em sua opinião, o sol seria a única possível explicação do ciclo. Brückner especulou sobre uma oscilação de 35 anos na atividade solar, mas ela não era aparente em registros visuais de manchas solares (BRÖNNIMANN, 2015). Sobre as dificuldades em encontrar as causas das mudanças climáticas, Brückner escreveu:

Tentei descrever as mudanças climáticas que afetaram o globo durante os últimos séculos. Como as engrenagens de um relógio, diferentes elementos meteorológicos interagem para produzir mudanças climáticas. Vemos as rodas girando e a mão se movendo em um certo ritmo, mas a força motriz permanece oculta [BRÜCKNER, 1890<sup>62</sup>, p. 322, apud BRÖNNIMANN, 2015, tradução nossa].

Brückner considerava os estudos do clima do passado como a chave para o futuro e, o mais importante, via sua relevância social e econômica. No penúltimo capítulo de seu livro, Brückner examinou as consequências de seu ciclo climático, considerando os efeitos nos sistemas naturais (geleiras) e artificiais (tráfego e economia). Ele até abordou os efeitos sobre as epidemias (BRÖNNIMANN, 2015). Esta visão para as aplicações práticas do conhecimento climatológico era típica no trabalho de Brückner:

O número de hipóteses e teorias sobre as mudanças climáticas são numerosas. Muito naturalmente, eles chamaram a atenção do público, já que qualquer prova de mudanças climáticas anteriores aponta para a possibilidade de mudanças climáticas futuras, que inevitavelmente terão implicações significativas para a economia global [BRÜCKNER, 1890<sup>62</sup>, p. 3, apud BRÖNNIMANN, 2015; tradução nossa].

Com base na oscilação de período de 35 anos, Brückner prognosticou um período seco na virada do século com graves consequências nas lavouras para regiões continentais, como América

---

responsáveis pela volatilidade peculiar do presente. Portanto, não é surpreendente que a busca por periodicidades e ciclos não seja atualmente mais uma prioridade para a ciência (STEHRE; STORCH, 2008).

<sup>62</sup> BRÜCKNER, E. *Klimaschwankungen seit 1700, nebst Bemerkungen über die Klimaschwankungen der Diluvialzeit*. Geographische Abhandlungen 4. Vienna: Ed. Hölzel, 1890. Disponível em: [https://archive.org/details/bub\\_gb\\_UCRUAAAAMAAJ](https://archive.org/details/bub_gb_UCRUAAAAMAAJ) - Acesso em 11 mai. 2021.

do Norte, Sibéria e Austrália. É digno de nota que esse esquema preditivo teria permitido a Brückner prever as fortes tempestades de areia (*dust bowl*) na parte central dos Estados Unidos que realmente ocorreu durante os anos trinta do século passado (STEHR; STORCH; FLÜGEL, 1995).

Os *ciclos de Brückner* não sobreviveram por muito tempo no séc. 20, pois nenhuma evidência estatística nem qualquer conhecimento de sua causa comprovaram que fossem duráveis ou convincentes. Depois de definhando na obscuridade durante grande parte do século passado<sup>63</sup>, a afirmação de Brückner de que os ciclos climáticos existem nessa escala tem recebido bastante apoio desde 1980 (BERGER; PÄTZOLD; WEFER, 2002). Essa periodicidade ressurgiu como uma característica em estudos de anéis de árvores e em certos sedimentos laminados que podem estar ligados às flutuações periódicas das interações oceano-atmosfera no Atlântico Norte ou originadas nas marés, por fim, relacionadas ao período de periastro lunar (BURROUGHS, 2003). Na série da temperatura na Inglaterra Central, foi constatada alta coerência entre as flutuações de temperatura e o número de manchas solares em períodos próximos a 30 anos. Essas modulações de 30 anos podem ser detectadas em muitos registros longos de temperatura, sendo que as características do período parecem suspeitosamente próximos a um terço do período do ciclo de Suess de 104 anos (THOMSON, 1995). Análises de anéis de árvores na Escandinávia têm um ciclo proeminente de 35 anos que persiste por muitas centenas de anos, fortalecendo a ideia de que esse ciclo pode se provar real (HOYT; SCHALTEN, 1997). O ciclo de 35 anos também foi descoberto em certos sedimentos finamente laminados coletados no Mar da Arábia ao largo do Paquistão e foi sugerido que o ciclo é idêntico ao período de maré de 35,4 anos. (BERGER; PÄTZOLD; WEFER, 2002). Uma análise dendrocronológica da madeira da Grécia antiga mostra que durante os 200 anos anteriores a 440 a.C. (quando a Acrópole foi construída), havia ciclos claros de 34,5 anos. Foi sugerido que o ciclo de Brückner de 35 anos pode estar relacionado a grupos aleatórios de três ciclos de manchas solares de 11 anos (eles próprios irregulares) (FAIRBRIDGE, 1987). Também foi sugerido como tendo origem nas marés (duas vezes o período do perigeu lunar) (BERGER; PÄTZOLD; WEFER, 2002). Mais recentemente, Brönnimann (2015), ao comparar a reconstrução da temperatura global de Brückner, constatou semelhanças com as variações dos índices da Oscilação Multidecadal do Atlântico (OMA) e da Oscilação Decadal do Pacífico (ODP). Já para Scafetta, Milani e Bianchini (2020), o ciclo 30

---

<sup>63</sup> Curiosamente, em 1935 o ciclo de 35 anos de Brückner foi influente quando, em uma conferência da Organização Meteorológica Internacional (OMM), em Varsóvia, foi discutido um período universal para o cálculo das *normais climatológicas*. Argumentos sobre o período médio mais adequado variaram de 11 anos (um ciclo solar bastante conhecido), 20 ou 25 anos (curto o suficiente para permitir que um grande número de estações calculasse suas normais), 35 anos (ciclo de Brückner) ou mesmo 50 anos (para capturar mais da variabilidade inter-decadal do clima). No final, a Comissão de Climatologia da OMM recomendou “um período de 30 anos, conforme apropriado para o estabelecimento de condições normais de temperatura” e sugeriu “1901-1930 como o período universal para o cálculo das normais”. (BERGER; PÄTZOLD; WEFER, 2002; BURROUGHS, 2003; HULME et al., 2009).



anos identificado por eles (próximo ao ciclo de 35 de Brückner) pode estar associado ao período orbital de Saturno (29,45 anos).

De modo ousado à época, Brückner teve o mérito de descobrir que o sistema climático exibe variações em escalas de tempo multidecadais, algo que mais tarde foi amplamente rejeitado por paleoclimatologistas. Ele não conseguiu explicar os mecanismos das mudanças no clima que permaneceram ocultos por tanto tempo. Apesar de um longo tempo de rejeição, as discussões acerca do ciclo de Brückner e os mecanismos causais suspeitos têm sido atualmente reconsiderados. Um progresso considerável tem sido feito desde a época de Brückner, especialmente nas últimas três décadas. Graças a novas técnicas analíticas e de amostragem, surgiram novos testemunhos que fornecem informações sobre aspectos mal compreendidos do estado do clima. As capacidades de modelagem foram aprimoradas e o uso de simulações para estudar o clima do passado se tornou comum. Além disso, o uso crescente de técnicas numéricas poderosas, como assimilação de dados, desencadeou novos esforços de recuperação de dados (BRÖNNIMANN, 2015).

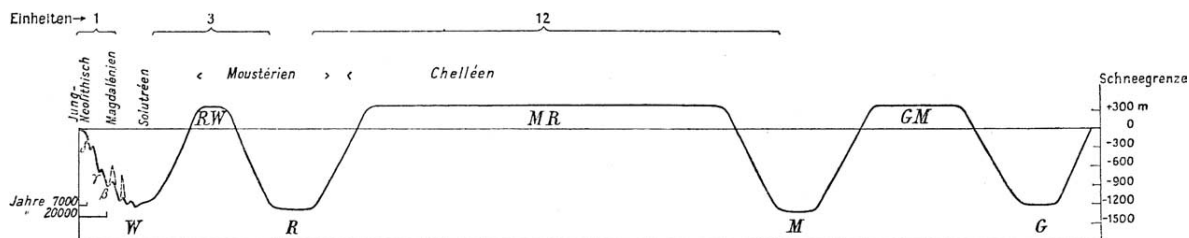
Como contribuição notável que permaneceu intacta de Brückner foi sua percepção das mudanças climáticas multidecadais, seu incentivo para reconstruir as temperaturas globais e regionais nos últimos séculos e seu esforço para enfatizar a aplicação prática da ciência do clima. Hoje, seus esforços lembram que, além de uma tendência climática de longo prazo, deve-se levar em conta a variabilidade do sistema climático em escalas multidecadais. Nessas escalas de tempo, podem ocorrer variações das temperaturas em escala continental de 0,5 °C ou mais. Os exemplos aqui apresentados também demonstram o que foi o cerne da pesquisa de Brückner: variações do clima em escala decadal sempre ocorreram naturalmente (BRÖNNIMANN, 2015).

#### **1.6.4.3. Ciclos Orbitais de Milankovitch**

O primeiro e principal ciclo solar identificado por Schwabe até hoje é tema recorrente de diversas pesquisas que relacionam variações das atividades solares com mudanças no clima terrestre. Debates sobre as mudanças climáticas culminaram, no final do séc. 19, em discussão viva das causas das eras glaciais, da natureza histórica da variabilidade climática, da possível influência humana sobre o clima futuro e do impacto sobre as economias e as sociedades. As questões foram discutidas por cientistas proeminentes, incluindo o físico e químico sueco Svante Arrhenius [1859–1927], o austríaco Julius von Hann [1839–1921], considerado o pai da Meteorologia Moderna, e o austríaco Eduard Brückner [1862–1927] (BRÖNNIMANN, 2001).

Brückner é conhecido como o coautor de obra monumental (PENCK; BRÜCKNER 1909) sobre a geologia da idade do gelo nos Alpes, publicada em colaboração com o geógrafo e geólogo alemão Albrecht Penck [1858–1945]. Entre outras coisas, com ideias originalmente

concebidas por Brückner, a obra apresentou evidências inéditas sobre a expansão repetida de geleiras alpinas durante as eras glaciais (ver curva original na **Figura 14**), em uma época em que os ciclos de idade de gelo eram considerados improváveis por muitos especialistas – incluindo o próprio Penck, orientador de doutorado de Brückner.



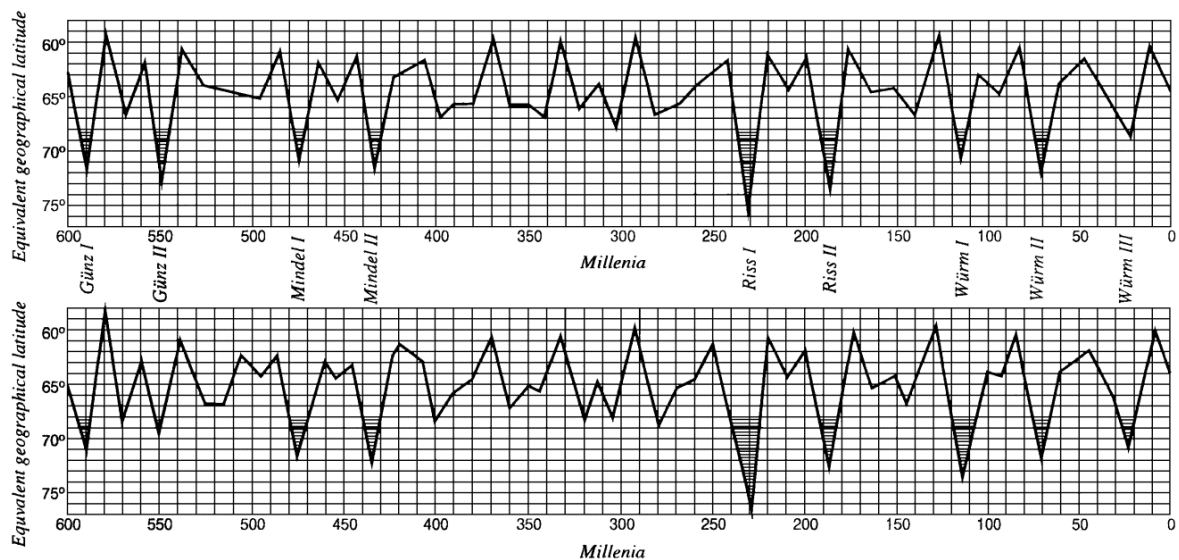
**Figura 14** – Curva paleoclimática resumindo o trabalho de Penck e Brückner sobre as glaciações nos Alpes. As iniciais *W*, *R*, *M*, *G* correspondem respectivamente às glaciações denominadas de *Würm*, *Riss*, *Mindel* e *Gunz* (nomes de quatro afluentes bávaros do rio Danúbio) e as combinações das letras representam os períodos interglaciais. O eixo horizontal indica o tempo, iniciando-se com o zero à esquerda (data atual), remontando até 600 mil anos atrás, à direita. As durações dos dois períodos mais recentes estão relatadas no lado esquerdo do diagrama. O eixo vertical representa a linha de neve permanente (altura, em metros, comparada ao valor atual). Algumas culturas pré-históricas conhecidas na época são indicadas no topo da curva. Fonte: original de Penck e Brückner (1909) recuperado por Bard (2004).

O grande marco no estabelecimento das eras glaciais foi decorrente das pesquisas de Milutin Milankovitch [1879–1958], engenheiro e matemático nascido na Sérvia. Milankovitch havia começado um projeto para calcular as temperaturas em diferentes latitudes e para saber se a temperatura alterava-se conforme ritmos astronômicos. Seu objetivo era explicar o papel desempenhado pelos ciclos astronômicos nas eras glaciais ao determinar de que modo os parâmetros orbitais coincidiam e combinavam-se para influenciar a quantidade de radiação solar, provocando, assim, mudanças climáticas bruscas como as glaciações.

Mesmo tendo sido prisioneiro no período de extrema instabilidade provocada pelas duas Grandes Guerras Mundiais, Milankovitch continuou seu trabalho para determinar, matematicamente, os ciclos das eras glaciais. Ele construiu a teoria de que as eras glaciais eram cíclicas conforme os trabalhos sobre ritmos astronômicos do geólogo escocês James Croll<sup>64</sup>. As séries de cálculos astronômicos, completadas por Milankovitch usando apenas lápis, papel e seu cérebro como calculadora, levaram em conta os fatores da órbita da Terra, incluindo a inclinação do eixo de rotação, a excentricidade da órbita e a precessão dos equinócios para determinar a quantidade de radiação solar recebida pela Terra (PHILANDER, 2008).

<sup>64</sup> James Croll [1821–1890] foi um cientista escocês que desenvolveu a teoria dos efeitos das variações da órbita da Terra em ciclos climáticos. Ele argumentava que os períodos quentes e frios alternados da Era Glacial, que tinha sido descoberta por geólogos, eram causados pela excentricidade da órbita da Terra. Sobre as relações entre as eras glaciais e as variações na órbita terrestre, Croll trocou correspondências com Sir Charles Lyell [1797–1875], mais conhecido como o autor de *Princípios de Geologia*, o qual popularizou o conceito de Uniformitarismo de James Hutton.

O produto essencial da teoria de Milankovitch é a curva original (**Figura 15**) que mostra como a quantidade de radiação do Sol de verão variou ao longo dos últimos 600 mil anos, período em que ele identificou alguns pontos baixos como quatro eras glaciais europeias, quase idênticas ao esquema reconstruído antes por Penck e Brückner. A diferença significativa reside no fato de que a curva de Milankovitch teve uma calibração precisa do tempo, expresso em milhares de anos. Assim, ele substituiu o esquema de Penck e Brückner ao fornecer uma explicação obre os surgimentos e as interrupções das eras glaciais e também uma maior precisão às datações destas (BERGER, 1988).



**Figura 15** – Amplitudes das variações seculares, obtidas por Milankovitch, da radiação no verão para a latitude norte 65° ao longo dos últimos 600 mil anos. Milankovitch identificou alguns pontos baixos na curva como quatro eras glaciais europeias. O gráfico figura superior é oriundo de um cálculo de Milankovitch feito em 1920 e o gráfico inferior de um cálculo de 1941. O eixo vertical fornece latitudes equivalentes a 65°N, definidas por Milankovitch; o tempo ao longo do eixo horizontal está em milhares de anos antes do presente. Fonte: originais recuperados e adaptados por Berger (1988).

Proposta pela primeira vez em 1930, a teoria de Milankovitch e seus cálculos causaram entusiasmo entre contemporâneos, mas, sem meios de comprovação, sua teoria foi arquivada. Milankovitch morreu em 1958, antes da teoria voltar à merecida proeminência na comunidade científica. Com o uso de computadores e testemunhos para melhorar a precisão dos cálculos, os cientistas resgataram o trabalho de Milankovitch. A primeira evidência científica foi trazida somente nos anos 1970, quando pesquisadores relacionaram a cronologia de alterações encontradas em sedimentos oceânicos com as mudanças associadas aos ciclos orbitais. Assim, de forma modificada, a teoria ficou estabelecida em 1976 como um modelo científico chamado de *ciclos de Milankovitch* (PHILANDER, 2008).

Milankovitch estava destinado a se tornar um dos raros cientistas que desenvolveram ideias verdadeiramente fundamentais. A aceitação da teoria de Milankovitch foi muito mais do que a quantificação da mudança dinâmica das últimas idades do gelo. Ele revolucionou a compreensão da dinâmica climática, configurou a climatologia como uma ciência exata e iniciou a modelagem numérica do clima, bem como formulou a única teoria do clima que pode ser verificada matematicamente e testada geologicamente. Assim, geólogos estão agora aplicando sua teoria para toda a história da Terra. Para climatologistas, a modelagem de longo prazo é agora possível, e para meteorologistas deixa uma mensagem crucial: a máquina do clima terrestre não é caótica nem imprevisível, ela é movida pelos fatores extraterrestres, geralmente com comportamento cíclico (KUKLA; FAIRBRIDGE, 2005).

#### **1.6.4.4. Ciclos Climáticos na Atualidade**

O tema de ciclos climáticos está se expandindo rapidamente na literatura. Várias razões são responsáveis por esse desenvolvimento:

1. A ciclicidade das eras glaciais já está bem estabelecida. Essas mudanças cíclicas estão vinculadas às oscilações do eixo da Terra e mudança da forma de sua órbita, como o corretamente descrito por Milankovitch;
2. A discussão sobre qual parte do aquecimento global dos últimos cem anos é de origem antropogênica. Se existir alguma contribuição, só pode ser respondida quando se tem uma noção do estado natural que o clima teria sem a interferência artificial humana. Nesse contexto, as mudanças na radiação solar têm sido identificadas como um fator importante no controle da temperatura global na Terra. As flutuações na intensidade da radiação do Sol estão intimamente ligadas às atividades de manchas solares, que é definitivamente um fenômeno cíclico, conforme descoberto por Schwabe. Assim, quando a variabilidade do Sol é importante nas mudanças climáticas, tais mudanças também podem ter uma componente cíclica intrinsecamente relacionada.
3. A recente grande expansão de esforços em encontrar padrões de mudança climática na escala decadal levaram à descoberta de uma série de oscilações internas no sistema oceano-atmosfera. Entre os mais estudados estão o El Niño – Oscilação Sul (ENOS), a Oscilação Decadal do Pacífico (ODP) e a Oscilação Multidecadal do Atlântico (OMA).

4. Com base no estudo dos anéis de árvores, testemunhos de núcleos de gelo polar, esqueletos de corais e sedimentos lacustres, séries longas e detalhadas das mudanças paleoclimáticas tornaram-se disponíveis nas últimas três décadas.

## 1.7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo examina conhecimentos e informações sobre mudança climática, tendo como pano de fundo a hipótese do “aquecimento global antropogênico”, veiculada por muitos autores e veículos de comunicação. Em resumo, a ideia propõe que a atividade antrópica possa ser capaz de suplantando e impor novos patamares à variabilidade natural do clima da Terra. A resposta ao problema não é nem simples nem imediata, pois requer uma abordagem consistente das variáveis que controlam o clima, desde a escala mundial até a escala local.

Primeiro, é forçoso reconhecer a concepção de que o registro geológico reúne abundantes evidências de que a Terra é palco de incontáveis situações de mudança do clima. A revisão histórica sobre as origens do estudo dos ciclos climáticos possibilitou enumerar as múltiplas causas das variações climáticas e propor uma definição precisa de ciclos. Cabe aqui resumir que, além de causas antropogênicas, existem diversas causas naturais de mudanças do clima cujas variabilidades incluem as alterações das emissões solares, dos parâmetros orbitais terrestres, da atmosfera e da superfície terrestre, atividades vulcânicas, colisão de meteoritos e cometas, oscilações oceânicas, raios cósmicos e tectonismo [ver Faustinoni e Carneiro (2015)], entre outros fatores.

Intensas discussões científicas, políticas e públicas sobre este tema e, especialmente, sobre o grau de contribuição das atividades humanas são testemunho da importância da questão. A complexidade dos sistemas em estudo é tão imenso que se torna igualmente grandioso o desafio de pesquisar, descrever os resultados e comunicar as inúmeras e controversas implicações. A diversidade e a complexidade das causas naturais de mudanças climáticas merecem ser examinadas em profundidade.

Qualquer discussão sobre mudança climática deve primeiramente reconhecer as escalas espaciais e temporais do sistema em análise, bem como os mecanismos físicos e tipos de variabilidade natural do clima, sobretudo diante da vastidão do Tempo Geológico. Nesse quadro, a resposta à pergunta inicial (“seria a atividade antrópica capaz de ultrapassar a variabilidade natural do clima da Terra?”) revela o grave equívoco que se pode criar pela suposição de que pudesse existir “um estado inmutável do clima”, e que o recente aquecimento global constituiria uma ruptura breve provocada pelo homem. O clima do mundo está mudando; ele sempre mudou e sempre mudará. A situação atual é antes um resultado da inevitabilidade da mudança climática causada por ciclos naturais que periodicamente oscilam entre fases de aquecimento e resfriamento, ao longo do Tempo Geológico.



**VOLUME 1 – PARTE I****CAPÍTULO 2****CICLOS CLIMÁTICOS:****Causas Naturais de Mudanças Climáticas****2.1. RESUMO**

A periódica mudança climática na Terra pode ser explicada por um número reduzido de fatores terrestres e astronômicos. Nas escalas anual/diária, o clima obedece aos movimentos de translação e de rotação. Ciclos climáticos de períodos médios (décadas/séculos/milênios) relacionam-se a mudanças na radiação solar, provocadas pela influência de grandes planetas do Sistema Solar. As oscilações oceânicas (ordem decadal) são possivelmente causadas por influências planetárias e lunares. Ciclos climáticos longos (dezenas a centenas de milhares de anos) são causados por variações nos parâmetros da órbita da Terra (excentricidade, obliquidade e precessão). Eventos de impacto de grandes corpos no planeta e extinções em massa de espécies advêm de superciclos (dezenas de milhões de anos) provocados pela oscilação vertical do Sistema Solar em relação ao plano galáctico. Tectonismo, vulcanismo e a evolução de supercontinentes exibem superciclos (centenas de milhões de anos) induzidos pelo deslocamento do Sistema Solar ao redor do centro da Via Láctea e pela variação de raios cósmicos. Fatores astronômicos permeiam praticamente todas as ordens dos ciclos climáticos e atuam direta ou indiretamente nos processos bio-geo-oceânico-atmosféricos. Conclui-se que o clima na Terra é caracterizado por ciclos controlados astronomicamente pela Lua, o Sol, os planetas, o Sistema Solar e, até mesmo, a Galáxia.

**2.2. INTRODUÇÃO**

A presente histeria sobre aquecimento global – com a previsão apocalíptica de fusão das calotas de gelo polar, inundação de cidades costeiras e desertificação de zonas produtoras de alimentos – não ajuda os cidadãos a compreender as forças reais e complexas que moldam o clima da Terra (HECHT, 1993-1994, p. 24).

Tentar entender o clima tem sido prática de sobrevivência desde os primórdios da humanidade. Inegavelmente, compreender o momento ideal do plantio e da colheita fez parte das técnicas da agricultura primitiva que permitiram ao homem a transição do nomadismo para o sedentarismo. Assim, a partir da constatação da óbvia alternância entre o dia e a noite, da observação das fases da Lua, da dedução das estações do ano, foi-se descobrindo a estreita relação entre esses fenômenos (cíclicos e de origem astronômica) com as alterações do clima na Terra (também de caráter periódico). Tais fenômenos naturais tornaram-se também a base de calendários e de unidades de medição do tempo cronológico.

A limitada capacidade de observação humana de enxergar outros diversos ciclos da natureza foi amplificada por meio de técnicas e instrumentos somente com o advento da Ciência Moderna, no séc. 17. Nesse período relativamente recente de toda a história da civilização, importantes descobertas<sup>65</sup> foram feitas no campo científico, sendo a primeira delas, com viés climático, realizada em 1843, sobre a periodicidade de 11 anos das manchas solares. Em homenagem ao descobridor – o astrônomo amador Samuel Heinrich Schwabe [1789-1875] – o fenômeno é hoje denominado de *ciclos de Schwabe*.

Em 1909, os geógrafos e geólogos Albrecht Penck [1858-1945] e Eduard Brückner [1862-1927] apresentaram evidências sobre os ciclos das eras glaciais e interglaciais. A elucidação do motivo das glaciações foi apresentada em 1930 pelo engenheiro e matemático Milutin Milankovitch [1879-1958], que provou, matematicamente, que a quantidade de radiação solar recebida pela Terra variava conforme ciclos orbitais terrestres. Definitivamente reconhecida somente em 1976 como um modelo científico, a teoria orbital como causa das alternâncias entre as eras glaciais e interglaciais é hoje conhecida como *ciclos de Milankovitch*, os quais, juntamente com os ciclos de Schwabe, evidenciam a influência do Sol no clima da Terra.

Desde então, novos padrões de variações do clima têm sido identificados, como, por exemplo, o El Niño – Oscilação Sul (ENOS), o mais conhecido das várias oscilações decadais do sistema oceânico-atmosférico. Com a disponibilização de séries longas e detalhadas das mudanças paleoclimáticas nas últimas três décadas, novos ciclos climáticos têm sido pesquisados e identificados.

Portanto, é fundamental ampliar a noção dos ciclos climáticos para além dos ciclos diários e anuais. Com esse intento, este capítulo difunde resultados de descobertas recentes sobre diversos ciclos climáticos ainda pouco conhecidos. Com base em extensa revisão bibliográfica, contempla-se a explicação dos principais ciclos climáticos: ciclos solares, ciclos das eras glaciais,

---

<sup>65</sup> Abordando métodos e origens do estudo dos ciclos climáticos na Terra, o CAPÍTULO 1 (p. 41) resgata a história de renomados cientistas (Hutton, Agassiz, Penck, Brückner, Milankovitch e Schwabe) que, ao final do séc. 18, foram pioneiros em elucidar e criar as bases para a compreensão da natureza periódica do clima.



ciclos de queda de asteroides e cometas, ciclos oceânico-atmosféricos e ciclos bio-geo-oceânico-atmosféricos relacionados ao tectonismo, vulcanismo, raios cósmicos e formação de supercontinentes.

### 2.3. CICLOS CLIMÁTICOS E FENÔMENOS CORRELATOS

As mudanças climáticas podem ser causadas por fatores naturais ou antrópicos que modificam os componentes do balanço de radiação terrestre. A radiação solar representa o principal fator natural no balanço de radiação terrestre e, conseqüentemente, consiste em uma contribuição significativa nas mudanças do clima. A quantidade de radiação recebida e reemitida pela Terra depende basicamente de três fatores, os quais seguem ordenados conforme o caminho percorrido pela radiação – desde o corpo emissor (Sol) até corpo receptor (Terra):

1. *Emissão da radiação*: fator primário determinado por variações solares, como os *ciclos solares de Schwabe* e outros;
2. *Recepção da radiação*: fator secundário determinado por variações da posição terrestre em relação ao Sol, conforme observado nos *ciclos diários*, *ciclos anuais* e *ciclos de Milankovitch*; e
3. *Reflexão, absorção, distribuição do calor e reemissão da radiação*: fator terciário determinado por alterações da composição atmosférica (gases de efeito estufa e nuvens), do modelado da superfície terrestre (uso dos solos) e dos oceanos (circulação oceânica).

As causas naturais das mudanças climáticas atuam nesses três grandes fatores. As causas humanas, não atuando nas duas primeiras categorias astronômicas, podem interferir somente no fator terrestre de terceira ordem, alterando as concentrações de gases e partículas na atmosfera e o uso e ocupação dos solos. As *causas* de mudanças climáticas podem ser classificadas em duas grandes categorias:

1. *Causas externas* são referentes aos agentes modificadores exteriores ao sistema climático que influenciam nos três fatores acima descritos; e
2. *Causas internas* compreendem os agentes que influenciam no fator terciário, com mudanças nas características da atmosfera, da superfície terrestre e da circulação dos oceanos. A humanidade somente pode interferir nas causas internas.

### 2.3.1. Variações das Emissões Solares

Como o Sol essencialmente fornece toda a energia que impulsiona sistema climático da Terra, é óbvio que as variações solares têm o potencial de diretamente alterar o clima. As variações solares referem-se às mudanças na quantidade de radiação total emitida pelo Sol e na sua distribuição espectral. A partir do Sol, a Terra recebe continuamente no topo de sua atmosfera um fluxo de energia eletromagnética cujo valor, na média<sup>66</sup>, é de aproximadamente  $1.365 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$  (ou  $81,66 \text{ kJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{min}^{-1}$ ). Anteriormente à existência de satélites de alta precisão, a radiação solar emitida era considerada constante por muitos cientistas. Tal fato é refletido no termo *constante solar*. Devido às interferências atmosféricas, fracassaram todas tentativas de detectar, em solo, as variações na constante solar. Foi então que, com o uso de satélites fora da atmosfera, o monitoramento da radiação solar permitiu identificar pequenas variações (BEER; MENDER; STELLMACHER, 2000; REBOITA; PIMENTA; NATIVIDADE, 2015).

#### 2.3.1.1. Ciclos Solares de Schwabe

A radiação solar medida pelos satélites durante as décadas recentes indica que as variações da emissões do Sol oscilam de forma periódica, fenômeno conhecido como o *ciclo solar* ou *ciclo solar de Schwabe*<sup>67</sup>. Cada ciclo solar, que dura aproximadamente 11 anos, é caracterizado por uma variação no surgimento e desaparecimento de manchas solares: os períodos de atividades solares elevadas são conhecidos por *máxima solar* (maior quantidade de manchas solares), e os períodos de atividades reduzidas são denominados de *mínimo solar* (menor quantidade de manchas solares). Essa oscilação causou, nos dois últimos ciclos, uma variação de 0,1% (cerca de  $1,3 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ ) na amplitude da radiação solar emitida. A **Figura 16** exibe os ciclos denominados<sup>68</sup> como os ciclos de números 21, 22 e 23 e, na **Figura 17**, imagens do Sol ilustram as *manchas solares* e as *fáculas*<sup>69</sup>.

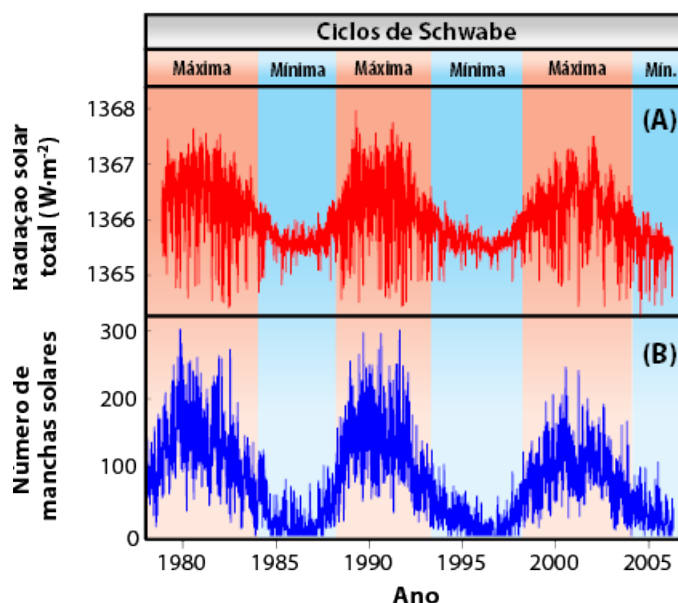
---

<sup>66</sup> Devido à variação da distância entre a Terra e o Sol, a irradiância solar no topo da atmosfera varia cerca de 6,9% durante o ano. Quando a Terra e o Sol estão mais próximos (*periélio*) ou mais distantes (*afélio*), a constante solar é, respectivamente, de  $1.412 \text{ W}^{-2}$  no início de janeiro e  $1.321 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$  no início de julho. Em qualquer dado momento, a quantidade de radiação solar recebida em uma localização na superfície terrestre depende do estado da atmosfera (presença/ausência de nuvens), da latitude do local, do horário e do dia do ano (PAULESCU et al., 2013).

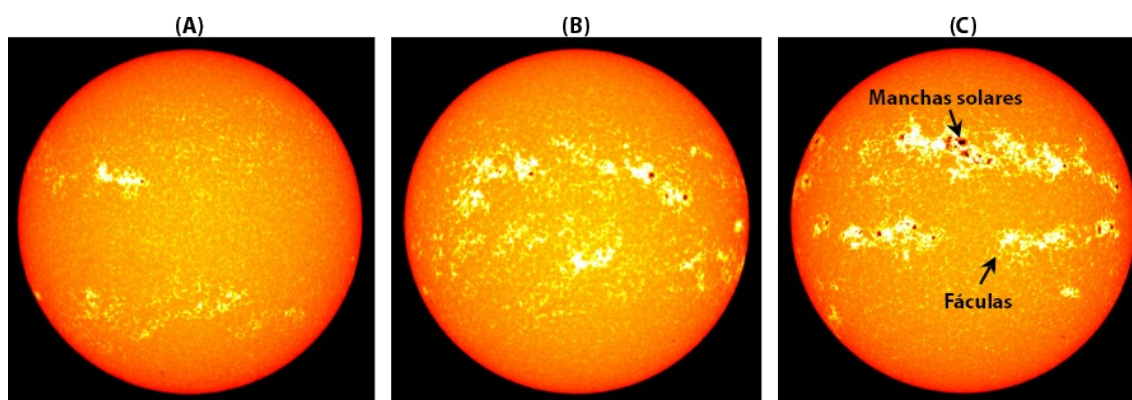
<sup>67</sup> No CAPÍTULO 1, item “1.6.4.1. Ciclos Solares de Schwabe” (p. 75), detalha-se a inusitada história de Samuel Heinrich Schwabe [1789-1875], astrônomo amador que, após quase 25 anos observando o Sol todos os dias, descobriu que o número de manchas variava de forma regular. Tal descoberta é considerada uma das mais importantes da Astronomia.

<sup>68</sup> O ciclo número 1 é tradicionalmente designado para o período de 1755 a 1766.

<sup>69</sup> Apesar de visualmente (a olho nu) parecer sempre igual, o Sol não é uma esfera com luminosidade uniforme. Ao contrário, a superfície é pontilhada por núcleos escuros de manchas solares acompanhadas por regiões brilhantes conhecidas como fáculas. As manchas solares são fenômenos temporários na fotosfera solar que aparecem visivelmente como manchas escuras em comparação às regiões vizinhas. Elas são causadas por intensa atividade magnética induzida, provavelmente, pela influência gravitacional e magnética de Júpiter e Saturno, os planetas do Sistema Solar com maiores massas. As manchas



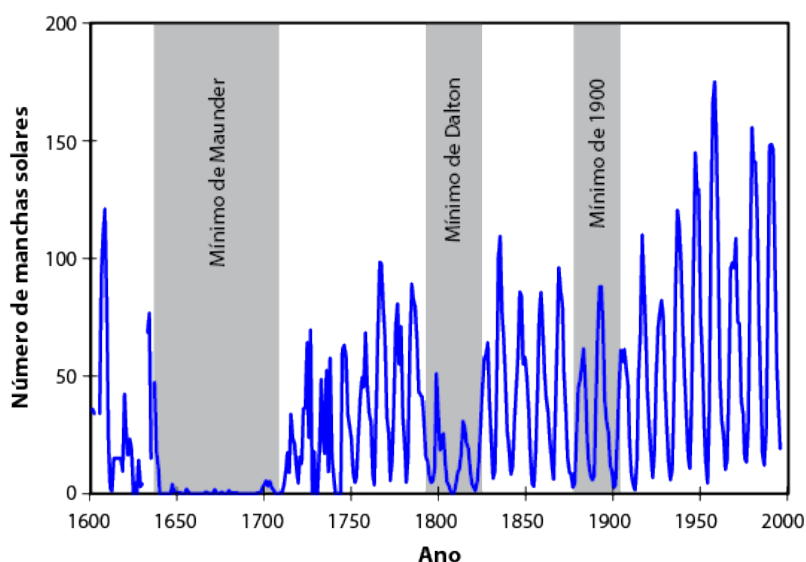
**Figura 16** – Ciclos de Schwabe – alternância entre períodos de máximas e mínimas solares, conforme exibem as variações (desde 1978) da: **(A)** radiação solar total e **(B)** do número de manchas solares. Fonte: modificado de Schöll et al. (2007).



**Figura 17** – Três vistas do Sol mostrando diferentes níveis de atividade solar: **(A)** Atividade solar fraca (imagem de 28/out/1998); **(B)** Atividade solar moderada (imagem de 27/abr/2002); **(C)** Atividade solar elevada (imagem de 28/mar/2001). As cores foram alteradas para melhorar a aparência das fáculas (regiões claras), que são mais quentes do que as manchas solares (regiões escuras). Fonte: elaborado a partir de imagens de NASA (2003).

solares ocorrem em locais em que o campo magnético do Sol se estende para fora da superfície solar, esfriando um pouco essa região e tornando-a menos brilhante. Essas perturbações no campo magnético solar deixam a área da mancha solar cerca de 1.500 °C mais fria do que a área circundante, com temperatura superficial de 5.500 °C. Uma vez que manchas solares são mais escuras do que a fotosfera ao redor, seria de se esperar que mais manchas resultassem em menos radiação solar, ou seja, quanto mais manchas escuras, menos luz seria emitida pelo Sol. No entanto, as margens no entorno das manchas solares são regiões mais quentes e brilhantes do que a média. Tais áreas são denominadas de fáculas, que do latim significa “pequena tocha” ou, literalmente, pontos brilhantes. Como regra geral, as fáculas estão localizadas perto das manchas solares, mas também podem existir sem elas. Podendo possuir até 160.000 km de diâmetro (13 vezes maior que a Terra), as manchas solares podem ser visíveis na Terra sem o auxílio de um telescópio. Já as fáculas, a olho nu, são mais difíceis de serem discernidas das demais regiões do Sol, pois apresentam um contraste baixo demais para produzir contribuições visivelmente significativas para a intensidade local, sendo esse contraste perceptível somente com o uso de instrumentos. Assim, mesmo com a escuridão provocada pelas manchas solares, prevalece a luminosidade das fáculas e, no cômputo geral, o brilho solar aumenta (KOPP; LEAN, 2011; KOSTYK, 2013).

Uma vez que inexitem dados de observações diretas para estudar a variabilidade da radiação solar em escalas de tempo maiores do que décadas, estimativas são realizadas com base em correlações comparativas a medições em testemunhos<sup>70</sup>. Conforme apresentado na **Figura 16-(A)**, os valores da radiação solar foram disponibilizados apenas durante os últimos três ciclos e se baseiam em uma composição de diversos satélites de observação. No entanto, uma alta correlação entre as medições de radiação e outros testemunhos de atividade solar permite estimar razoavelmente a atividade solar no passado. O mais importante método entre esses testemunhos é o registro das observações a olho nu do número de manchas solares [**Figura 16-(B)**], que tem sido registrada<sup>71</sup> desde aproximadamente 1610, como apresentado na **Figura 18**.

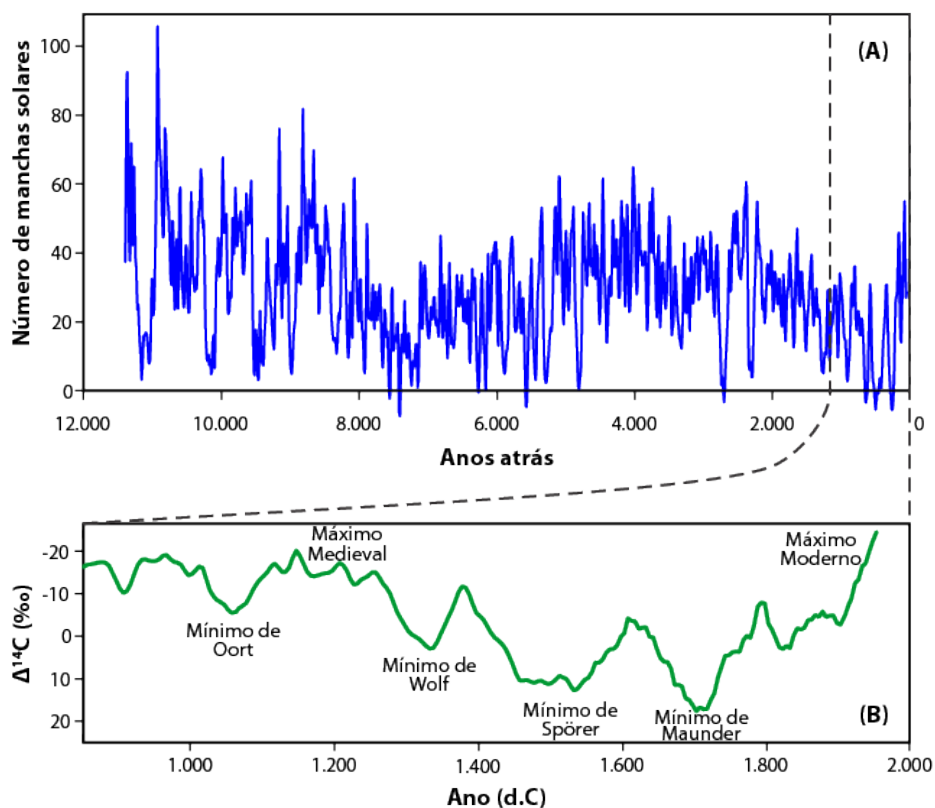


**Figura 18** – Variação da quantidade de manchas solares desde 1610. Fonte: modificado de Beer, Mender e Stellmacher (2000).

<sup>70</sup> No CAPÍTULO 1, item “1.5.2. Reconstruções do Clima no Passado” (p. 53) descreve-se como os diversos tipos de testemunhos (anéis de árvores, sedimentos marinhos, núcleos de gelo, isótopos etc.) permitem reconstruir o clima no passado e seus diferentes componentes e fatores (precipitação, umidade, temperatura atmosférica, temperatura dos oceanos, nível dos oceanos, direção e velocidade dos ventos, variabilidade solar, atividades vulcânicas, circulação atmosférica, concentração de gases na atmosfera, produtividade biológica e nutrientes nos oceanos, distribuição de plantas e animais, vazão de rios, salinidade, pH, volume de gelo, extensão da calota polar, detritos transportados pelo gelo, entre outros).

<sup>71</sup> O reconhecimento de manchas solares como um fenômeno solar amplamente reconhecido é, sem dúvida, uma das primeiras realizações de pesquisas astronômicas com telescópios. As manchas solares foram observadas pela primeira vez por David Fabricius [1564-1617], Galileu Galilei [1564-1642], Christoph Scheiner [1573-1650] e Thomas Harriot [1560-1621], na primeira década do séc. 17. Alguns observadores acreditavam que as manchas solares eram nuvens que flutuavam na atmosfera do Sol, obscurecendo um pouco de sua luz. Galileu, contudo, definitivamente merece o crédito por ter estabelecido que as manchas solares são parte do Sol, que mudam com o tempo, e que o Sol gira com um período de cerca de um mês lunar (rotação sinódica de aproximadamente 27 dias) (OSKAR, 2009).

Reconstruções dendroclimatológicas da atividade solar, com base em datações radiométricas em anéis de crescimento de árvores, foram realizadas para períodos maiores que as quatro décadas de observações diretas do número de manchas solares. A **Figura 19-(A)** exibe reconstruções do número de manchas solares nos últimos 11.000 anos, enquanto que um recorte do período desde o ano 900 d.C., mostrado na **Figura 19-(B)**, exibe os valores da variação da concentração do radiocarbono ( $^{14}\text{C}$ )<sup>72</sup>.



**Figura 19** – Reconstruções das atividades solares passadas: **(A)** Variação da quantidade de manchas solares nos últimos 11.000 anos; **(B)** Concentração de radiocarbono atmosférico nos últimos 1.100 anos. Fonte: elaborado com base em Solanki et al. (2004), gráfico (A); e Reimer et al. (2004), gráfico (B).

Observando a reconstrução nos últimos 1.000 anos, os períodos de baixa (alta) produção de  $^{14}\text{C}$  correspondem a períodos de alta (baixa) atividade solar. No período de 950 a 1.300, elevadas atividades solares coincidem com o período conhecido na história humana como *Período Medieval Quente*. Logo após, uma sucessão de períodos excepcionalmente frios na Terra,

<sup>72</sup> O radiocarbono ( $^{14}\text{C}$ ) é produzido por interações nucleares induzidas por raios cósmicos que entram na atmosfera. A intensidade dos raios cósmicos depende da atividade solar através da mudança do campo magnético interplanetário. Uma vez que o  $^{14}\text{C}$  atmosférico é assimilado pelas árvores, a variação atmosférica desse isótopo do carbono reflete mudanças na atividade solar e, portanto, pode ser reconstruída por meio de análises de anéis de árvores (MASUDA et al., 2009). A concentração do  $^{14}\text{C}$  na atmosfera é baixa durante os máximos solares e elevada durante os mínimos solares. O eixo vertical da Figura 19-(B) está invertido para que o mínimo da concentração de  $^{14}\text{C}$  corresponda ao máximo do número de manchas solares.

chamada de *Pequena Era do Gelo*, coincide com períodos que apresentaram número drasticamente reduzido de manchas solares: *Mínimo de Oort*<sup>73</sup> [1010-1050], *Mínimo de Wolf*<sup>74</sup> [1280-1340], *Mínimo de Spörer*<sup>75</sup> [1420-1530] e *Mínimo de Maunder*<sup>76</sup> [1645-1715]. Dessa forma, o padrão correspondente de manchas solares indica que as atividades solares afetam diretamente o clima da Terra, demonstrando claramente a variabilidade natural do clima e a coincidência com eventos conhecidos na história humana (MASUDA et al., 2009).

### 2.3.1.2. Outros Ciclos Solares

De acordo com Beer, Mender e Stellmacher (2000), as reconstruções de <sup>14</sup>C, e por inferência as atividades solares, indicam que, além do ciclo de Schwabe, o Sol possui outros ciclos: *ciclo de Hale*<sup>77</sup>, revelando que o ciclo solar é um ciclo magnético no qual a polarização magnética das manchas solares se inverte a cada 22 anos; *ciclo inferior de Gleissberg*<sup>78</sup>, de 88 anos; *ciclo superior de Gleissberg*, de 120 anos; *ciclo de Suess*<sup>79</sup> (ou também *ciclo de De Vries*), de 208 anos; e ciclos consideravelmente maiores de 500 anos (sem nome atribuído), 1.000 anos (*ciclos de Eddy*), bem como os *ciclos de Hallstatt* de 2.300 anos (USGS, 2000; ABREU et al., 2010; KERN et al.; 2012).

As evidências indicam influência significativa dos efeitos do Sol no clima na Terra, uma vez que os diferentes ciclos solares representaram um forçamento radiativo considerável nas mudanças climáticas nos últimos milênios. Para Zuffo (2015, p. 20)<sup>80</sup>:

A teoria dos ciclos solares consegue explicar muito melhor o efeito natural do clima que aquela do aquecimento global de origem antropogênica.

<sup>73</sup> Jan Hendrik Oort [1900-1992], astrofísico holandês que descobriu o mínimo de atividade solar referente ao período de 1010-1050.

<sup>74</sup> Johann Rudolf Wolf [1816-1893], astrônomo suíço que descobriu o mínimo de atividade solar referente ao período de 1280-1340.

<sup>75</sup> Friederich Wilhelm Gustav Spörer [1822-1895], astrônomo alemão, foi o primeiro a observar um período prolongado de baixa atividade das manchas solares. Seus trabalhos foram citados por E. W. Maunder.

<sup>76</sup> Edward Walter Maunder [1851-1928] foi um astrônomo inglês que estudou as manchas solares e sugeriu que a atividade solar estava diretamente ligada ao clima. Ele relacionou o número de manchas solares como uma indicação da atividade solar. Assim, Maunder desvendou que durante o período de frio entre 1645-1715 houve pouca atividade solar, e essa descoberta levou à nomeação do fenômeno em sua homenagem.

<sup>77</sup> Homenagem a George Ellery Hale [1868-1938], astrônomo norte-americano que, junto com colaboradores, elucidou as bases físicas do ciclo solar em 1908.

<sup>78</sup> Wolfgang Gleißberg [1903-1986] foi um astrônomo, matemático e físico alemão que, além de descobrir o ciclo de quase 90 anos, também desenvolveu métodos de previsão da atividade solar.

<sup>79</sup> Hans Eduard Suess [1909-1993] foi um físico-químico e físico nuclear americano, nascido na Áustria, que encontrou uma variação significativa de 208 anos em registros de radiocarbono de anéis de árvores.

<sup>80</sup> Sobre os efeitos do Sol no clima, nos regimes de chuva e períodos de secas, em especial sobre recente situação da crise hídrica do ano de 2015 na região do Sistema Cantareira, sugere-se o trabalho de Zuffo (2015) como referência.

No mesmo sentido, trabalho de Scafetta (2010) alega que 60% do aquecimento global observado desde 1970 é devido a causas naturais decorrentes dos ciclos solares de Schwabe e Hale, além do ciclo lunar de 9,1 anos e da influência dos períodos orbitais de Júpiter e Saturno. Assim, a atividade solar é provavelmente modulada por forças planetárias gravitacionais e eletromagnéticas que atuam sobre o Sol. A influência da radiação solar no clima é, de fato, bastante significativa, responsável, inclusive, pelos ciclos glaciais e interglaciais<sup>81</sup>.

### 2.3.1.3. Movimento Inercial Solar

A variabilidade da radiação solar está associada ao movimento inercial solar e ao dínamo solar. A posição do Sol não é fixa, está sempre mudando: impulsos de torque provocados pelos planetas impelem o Sol ao redor do centro de massa do Sistema Solar (*baricentro*). Estudado há mais de 40 anos, o movimento inercial solar é o deslocamento do Sol, em torno do baricentro, provocado pelas posições variáveis dos planetas gigantes (Júpiter, Saturno, Urano e Netuno). O primeiro estudo, publicado por Jose (1965), indicou que o movimento real do Sol é muito complicado, algo já notado por Newton em *Principia*:

... uma vez que o centro de gravidade (centro de massa do Sistema Solar) está continuamente em repouso, o Sol, de acordo com as várias posições dos planetas, deve mover-se continuamente para todos os lados, mas nunca vai deslocar-se longe do centro [CAJORI, 1934<sup>82</sup> apud JOSE, 1965, p. 193; tradução nossa].

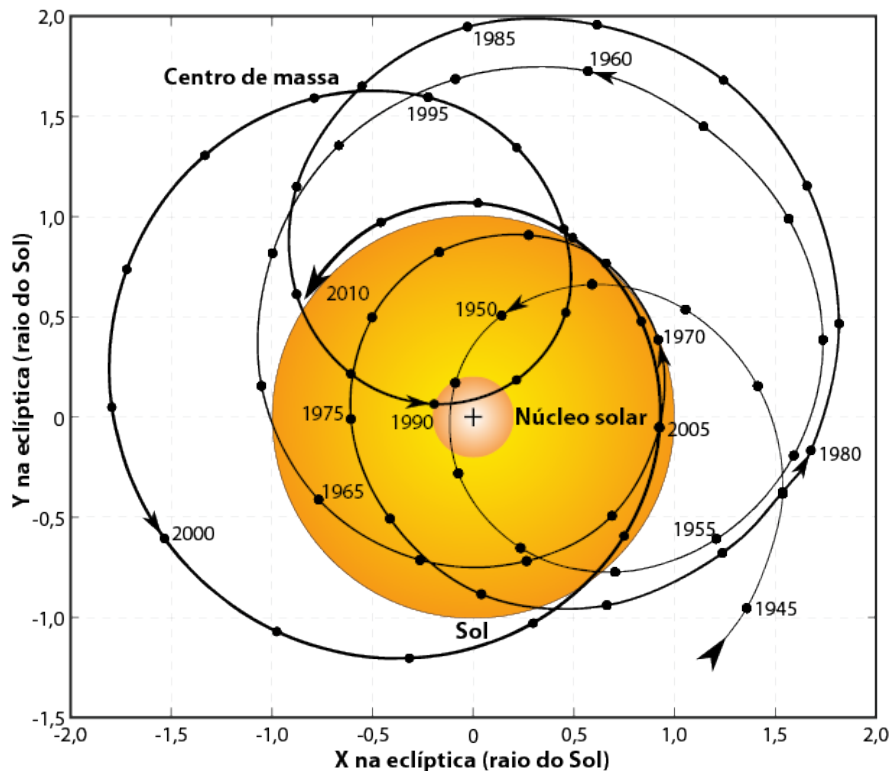
O baricentro do Sistema Solar fica localizado entre 0,01 e 2,2 vezes o raio do Sol. O caminho do Sol consiste, na verdade, em um circuito com voltas irregulares, ou seja, cada circunferência não se completa sobre si mesma a cada volta, tal como uma órbita planetária comum. Assim, o Sol se move circularmente ao longo de uma área com lado de 4,3 raios solares (ou  $9,0 \cdot 10^{12}$  km<sup>2</sup>). Jose (1965) descobriu que, embora este movimento seja complicado (**Figura 20**), o Sol retorna à mesma posição a cada 179 anos, fenômeno conhecido como *ciclo de Jose*. Encontrado em testemunhos da atividade solar nos últimos 8.000 anos, o ciclo de Hallstatt (~2.400 anos) tem como causa o movimento solar (CHARVÁTOVÁ, 2000), especificamente

---

<sup>81</sup> Conforme será apresentado no item “2.3.2.3. Ciclos Glaciais de Milankovitch”, p. 146.

<sup>82</sup> CAJORI, F. *Newton's Principia*. San Francisco: University of California Press, 1934. Book III, Proposition XIII.

causado por uma grande ressonância estável envolvendo os quatro *planetas jovianos* – Júpiter, Saturno, Urano e Netuno (SCAFETTA, 2016a).



**Figura 20** – Oscilações do Sol em torno do centro de massa do Sistema Solar, no período de 1945 a 2010. São mostradas as posições celestes anuais do baricentro (pequenos círculos) em relação ao centro do Sol (cruz). Fonte: elaborado com base em Landscheidt (1981) e Scafetta (2010).

Jose (1965) identificou que certas forças dinâmicas exercidas sobre o Sol pelos movimentos dos planetas são a causa da atividade das manchas solares. Embora 99,9% da massa do Sistema Solar esteja contida no Sol, 98% da quantidade de movimento angular está localizada nos planetas (BLIZARD, 1987), ou seja, mesmo que os planetas não possuam muita massa em relação ao Sol, eles possuem bastante energia cinética (relacionada às translações) indutora de torque.

Recentemente, para os diversos ciclos da atividade solar, Abreu et al. (2012) demonstraram que as influências planetárias são de fato a principal causa das mudanças na irradiação solar. Ao estudar as perturbações dos planetas no funcionamento do dínamo solar, eles encontraram excelente concordância entre os ciclos de longo prazo da atividade solar e as periodicidades no torque planetário. Scafetta (2010) finalmente explica a origem dos ciclos e manchas solares: os planetas, em particular Júpiter e Saturno, com seus movimentos em torno do Sol, dão origem a grandes oscilações gravitacionais e magnéticas que fazem vibrar o Sistema Solar. As vibrações têm as mesmas frequências das órbitas planetárias. As vibrações do Sistema



Solar podem ser direta ou indiretamente sentidas pelo sistema climático e podem fazer com que oscilem com as mesmas frequências. Mecanismos físicos mais específicos envolvidos no processo incluem forças de maré gravitacional, fenômenos de transferência de rotação orbital e perturbações magnéticas.

Reunindo aproximadamente 92% da massa planetária do Sistema Solar, os grandes planetas jovianos – Júpiter e Saturno – possuem amplos campos magnéticos que interagem com o plasma solar e com o campo magnético de interação. As forças gravitacionais e magnéticas agem como forças externas do dínamo solar, do vento solar e do sistema Terra-Lua e podem modular tanto a dinâmica solar e, direta ou indiretamente, por intermédio do Sol, o clima da Terra. Por exemplo, o ciclo solar de 11 anos está bem sincronizado com o alinhamento de Vênus, Terra e Júpiter. O ciclo das manchas solares também apresenta uma bi-modalidade com períodos que oscilam entre 10 e 12 anos, que se situam entre os períodos sinódicos opostos de Júpiter e Saturno e o período de Júpiter, respectivamente. Os resultados de Scafetta (2010) indicam que Júpiter, Saturno, Urano e Netuno modulam a dinâmica solar. Assim, as evidências mostram que o clima pode ser parcialmente impulsionado por forças mecânicas, tais como torques gravitacionais e magnéticos, e não apenas as forças radiativas como comumente suposto.

## **2.3.2. Variações Orbitais Terrestres**

A variação da radiação solar incidente na atmosfera terrestre ocorre não somente devido às variações das atividades solares, mas também devido às mudanças orbitais da Terra, as quais determinam influências de curto e longo prazo no clima, cuja magnitude é de ordem bastante superior às causadas pelas variações das emissões solares.

### **2.3.2.1. Ciclos Diários e Anuais**

Existem muitos ciclos climáticos, alguns são totalmente compreendidos, outros não são tão imediata e obviamente cíclicos. Uma vez que o clima muda em diversas escalas, as variações menores, mais próximas da percepção humana, ajudam a entender as grandes oscilações do passado geológico. Nesse sentido, em termos de períodos curtos de tempo, as mudanças das condições climáticas e meteorológicas incluem: as flutuações diurnas, os ciclos sinópticos (relacionados às circulações das massas de ar), os ciclos intra-estações, os ciclos sazonais (estações do ano) e os ciclos anuais.

Os ciclos diários são facilmente observados e demonstrados pelo aquecimento e resfriamento produzidos pela alternância dos dias e das noites. Um ciclo diário, que se repete a cada 24 horas, é resultado de uma rotação completa da Terra em torno do próprio eixo. O ciclo

diário implica uma das formas mais básicas dos padrões climáticos<sup>83</sup>: a variação diurna de temperatura com comportamento aproximadamente sinusoidal. Apesar de a rotação terrestre ser o fator determinante nos ciclos diários de temperatura, ressalta-se que estes são influenciados por condições atmosféricas – ditadas pelas massas de ar – e por fatores locacionais como altitude, latitude, umidade, nebulosidade e velocidade dos ventos. Portanto, a aparência sinusoidal do perfil de temperatura do ar pode possuir algumas irregularidades.

A Terra é aquecida durante o dia ao receber radiação solar, mas continuamente perde calor pela radiação terrestre. O aquecimento e o resfriamento dependem de um desequilíbrio entre a radiação solar recebida e a radiação emitida pela superfície terrestre. Durante o dia, a radiação solar excede a radiação terrestre e, assim, a superfície torna-se mais quente. À noite, a radiação solar cessa, mas a radiação terrestre continua sendo emitida, causando o resfriamento da superfície. O resfriamento continua até pouco depois do nascer do Sol, quando então a radiação solar novamente ultrapassa a radiação terrestre. A temperatura mínima normalmente ocorre depois do nascer do Sol e a temperatura máxima ocorre entre 1 a 3 horas após o pico de radiação solar.

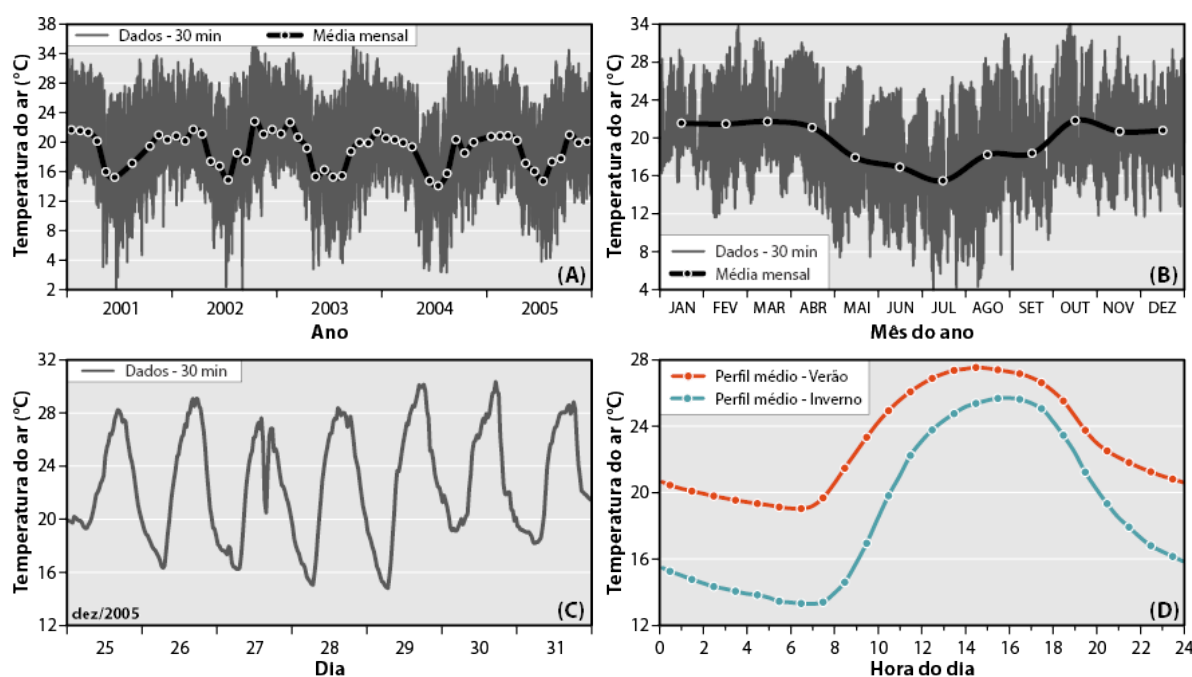
A magnitude da variação da temperatura do ar é expressa em termos de sua *amplitude térmica*, que é calculada ao subtrair o valor da temperatura máxima pelo valor da temperatura mínima. Em regiões úmidas, a amplitude térmica geralmente é menor, enquanto que em regiões desérticas, devido à baixa umidade do ar e ausência de nuvens, ocorrem as maiores variações diurnas de temperatura, podendo atingir extremos de até 50 °C de amplitude térmica.

Além da rotação diária, a Terra completa, no período de um ano, uma órbita em torno do Sol. Devido à inclinação do eixo da Terra, a quantidade de luz solar que atinge determinado ponto na superfície varia ao longo do ano. O ciclo anual de temperatura reflete diretamente a variação da radiação solar e indica as mudanças sazonais do clima, como os períodos quentes do verão e frios do inverno. As mudanças na intensidade e duração da insolação recebida dependem da duração do dia e do ângulo de incidência da radiação, ambos determinados pela latitude e dia do ano. Durante o verão no hemisfério sul, a duração do dia é maior e o ângulo de incidência é menor, logo, a radiação incidente é maior do que nos períodos de inverno. Em termos de latitude, ocorre pequena variação na radiação solar no equador e trópicos, resultando em temperaturas médias mensais uniformes ao longo do ano. Em latitudes médias, a radiação solar apresenta uma amplitude pronunciada entre a insolação máxima (verão) e mínima (inverno). Em latitudes polares, a diferença sazonal na radiação solar é extrema, pois os dias e as noites podem durar 24 horas ininterruptas, dependendo da estação do ano.

---

<sup>83</sup> Além das implicações climáticas, o ciclo diário repercute diretamente no funcionamento dos seres vivos. Ao provocar variações na luminosidade, temperatura e marés, a alternância entre o dia e a noite influencia os processos biológicos e determina um ritmo biológico com oscilações endógenas de aproximadamente 24 horas, fenômeno conhecido como *ritmo circadiano*. O termo circadiano vem do latim *circa diem* (cerca de um dia). Amplamente observados nas plantas, animais, fungos e cianobactérias, os ritmos circadianos são formalmente estudados pela *Cronobiologia*, campo da Biologia que examina os fenômenos periódicos em organismos vivos e sua adaptação aos ritmos solares e lunares.

A título de ilustração, na **Figura 21** estão apresentados cinco ciclos anuais [gráfico (A)], um ciclo anual [gráfico (B)], sete ciclos diários [gráfico (C)] e dois ciclos diários médios [gráfico (D)] provenientes de dados obtidos, a cada 30 minutos, em estação climatológica localizada em Itirapina/SP (latitude 22°10' S, longitude 47°50' O, altitude 753 m) referentes ao período de 2001 a 2005. A amplitude térmica diária no período foi de 12,0 °C em média, mas eventualmente atingiu mais de 20,0 °C. A diferença sazonal entre verão/inverno fica evidenciada no gráfico (D) da retrocitada figura. No verão, a temperatura diária média do ar foi de 23,0 °C e, no inverno, foi de 21,0 °C. A temperatura máxima registrada no período foi de 37,4 °C e a temperatura mínima foi de 1,8 °C. No solstício de verão, 21 de dezembro é o dia com maior duração de luz solar, com 13h24min; no solstício de inverno, 21 de junho é o dia com menor duração de luz solar, com 10h36min. Essa condição, juntamente com o ângulo de incidência dos raios solares, determina os perfis médios de temperatura do ar nos períodos de verão e inverno exibidos no gráfico (D).



**Figura 21** – Exemplos de ciclos anuais e diários da temperatura do ar. (A) Cinco ciclos anuais (2001-2005); (B) Um ciclo anual (2005); (C) Sete ciclos diários (25-31 dez/2005); (D) Dois ciclos diários médios provenientes de dados obtidos a cada 30 minutos. Fonte: elaboração própria utilizando dados obtidos na estação climatológica do Centro de Recursos Hídricos e Estudos Ambientais, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo (CRHEA/EESC/USP), Itirapina/SP.

### 2.3.2.2. Variações da Duração do Dia e do Ano

A Terra gira uma vez por dia, mas o conhecido período de 24 horas desse dia nem sempre foi constante. Em escala geológica, a velocidade de rotação da Terra já foi muito mais rápida do

que é hoje: quando a Terra se formou, um dia tinha em torno de 6 horas de duração; há 300 milhões anos atrás, um ano durava cerca de 450 dias e um dia durava aproximadamente 21 horas. Como resultado da redução da velocidade de rotação da Terra<sup>84</sup>, a duração do dia aumentou. A desaceleração da rotação terrestre foi gradual, porém ocorreu mais rapidamente quando a água líquida começou a se formar há cerca de 3,5 bilhões de anos atrás. De acordo com o modelo de Arbab (2009), a duração do dia aumenta a uma taxa atual de 0,002 segundos/século. Segundo Stephenson e Morrison (1995), ao longo dos últimos 3.500 anos, a duração do dia aumentou em 84 milissegundos (0,0017 s/séc.).

Em escalas de tempo sazonais, a variação na duração do dia pode ser interpretada em termos de troca de momento angular entre a Terra sólida e as camadas fluidas superficiais (atmosfera e oceanos) e internas (núcleo fundido). No caso da atmosfera, as variações na quantidade de movimento angular são dominadas pelo efeito dos ventos, seguidas pelos efeitos de grandeza menor oriundos de mudanças na pressão. As contribuições dos oceanos possuem influências ainda menores do que as da pressão. A força dos ventos contra as montanhas altera a duração do dia em mais ou menos um milésimo de segundo, durante um período de um ano (DICKEY; MARCUS; de VIRON, 2011).

A duração de um dia na Terra também varia ao longo de períodos mais longos, como interanual (dois a 10 anos), decadal (aproximadamente 10 anos) ou várias décadas. Um modo mais dominante que flutua a cada 65 a 80 anos alterou a duração do dia em aproximadamente 4 milissegundos no início do séc. 20. Essas flutuações longas são devidas ao fluxo de ferro líquido no núcleo externo da Terra, onde o campo magnético terrestre se origina. Ao interagir com o manto da Terra, esse fluido afeta a rotação da Terra (DICKEY; MARCUS; de VIRON, 2011).

As variações recentes na duração do dia podem estar associadas a variações da temperatura média do ar na Terra, podendo provocar flutuações de até 0,2°C na temperatura

---

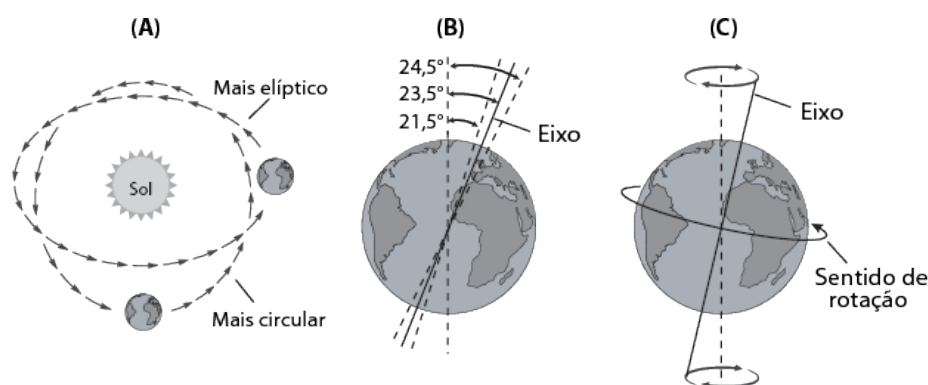
<sup>84</sup> Segundo van Andel (1994), a velocidade de rotação da Terra desacelerou gradualmente como resultado de interações gravitacionais com a Lua, fenômeno conhecido como *aceleração de marés* que envolve a fricção das marés e provoca variações na distância entre a Lua e a Terra. Assim, há 400 milhões de anos atrás, o mês lunar tinha 30 dias, ao invés dos atuais 28 dias de duração. Arbab (2009) propôs outra hipótese baseada na variação da constante gravitacional. Foi assumido que, conforme a expansão do universo está acelerando no momento presente e a fim de evitar um colapso no futuro, uma forma de contornar essa situação é ter a força da gravidade variando um pouco com o tempo. No caso de um universo plano, a expansão acelerada do universo é equilibrada com o aumento da força da atração gravitacional ao longo do tempo. Assim, o autor pressupôs que o aumento da gravidade e a expansão do universo são as causas da desaceleração da rotação terrestre. Em sentido inverso, Christianto, Pitkaneny e Smarandache (2009) defendem a visão predominantemente aceita de que a gravidade diminuiu com o tempo. Considerando o fato de que os raios dos planetas são inversamente proporcionais às suas gravidades, inicialmente, com a gravidade elevada, a Terra possuía uma crosta pequena e uniforme, sem oceanos, assim como outros planetas rochosos, e com o tempo foi se expandindo conforme a redução da gravidade. Desse modo, Christianto, Pitkaneny e Smarandache (2009) levantam a hipótese de que o raio atual é 2 vezes o raio da Terra primitiva. No princípio, a força gravitacional era 4 vezes mais forte e a Terra girava 4 vezes mais rápido e, por este motivo, o dia tinha apenas 6 horas. Percebe-se até então, pelas duas hipóteses, que a “constante” gravitacional na verdade pode ser variável. A gravidade aumenta em um caso e diminui em outro. Apresentando uma terceira hipótese, Machado (1967) afirma que a gravidade tem variado com certa periodicidade durante o tempo geológico, implicando fases alternadas de expansão e contração da Terra. As variações cíclicas da gravidade e do raio terrestre podem estar relacionadas com a revolução do Sistema Solar ao redor do centro imaginário da Via Láctea, cujo ciclo perdura por 225-250 milhões de anos.

superficial global. Apesar de essas variações recentes na duração do dia serem da ordem de milissegundos, a relação não está diretamente relacionada à menor ou maior quantidade de radiação recebida em intervalos de tempo tão curtos. A hipótese para essa correlação é a possibilidade de os movimentos do núcleo da Terra perturbarem o campo magnético e, assim, modificarem o fluxo a quantidade de partículas carregadas (raios cósmicos), estas supostamente responsáveis pela formação de nuvens. Pela mudança na nebulosidade, é possível afetar o quanto de energia do Sol é refletido de volta ao espaço e o quanto é absorvido. Outra possibilidade é um efeito indireto sobre o clima causado pela influência solar, afetando simultaneamente o núcleo terrestre e o clima (NASA, 2011).

### 2.3.2.3. Ciclos Glaciais de Milankovitch

O matemático sérvio Milutin Milankovitch<sup>85</sup> passou 30 anos pesquisando mudanças em características orbitais<sup>86</sup> da Terra e sua influência sobre a quantidade de radiação solar recebida na superfície terrestre. Três características da órbita terrestre mudam lentamente ao longo de dezenas de milhares de anos, conforme ilustrado na **Figura 22**:

- Excentricidade orbital;
- Inclinação axial (ou obliquidade)<sup>87</sup>; e
- Precessão dos equinócios (ou orientação do eixo de rotação).



**Figura 22** – Variações orbitais terrestres: **(A)** Excentricidade orbital; **(B)** Inclinação do eixo terrestre; **(C)** Precessão dos equinócios. Fonte: modificado de Harper (2007).

<sup>85</sup> No CAPÍTULO 1, item “1.6.4.3. Ciclos Orbitais de Milankovitch” (p. 87) apresenta-se a história de Milutin Milankovitch [1879-1958] e sua teoria proposta em 1930, que somente foi reconhecida e comprovada quase duas décadas após a sua morte.

<sup>86</sup> Para mais detalhes sobre os parâmetros orbitais de Milankovitch, consultar Reboita, Pimenta e Natividade (2015).

<sup>87</sup> O termo clima surgiu da palavra grega *klima*, que se referia antigamente a uma suposta *inclinação* da Terra, aproximando à atual concepção de latitude. A origem histórica da palavra *klima* remete aos estudos realizados pelas civilizações sumérias datadas no ano de 400 a.C. (CRITCHFIELD, 1966).

Os parâmetros orbitais apresentam diferentes ciclos de mudança que afetam a quantidade de insolação recebida pela Terra. As causas das variações orbitais terrestres estão relacionadas à influência dos movimentos dos corpos do Sistema Solar. Ou seja, os parâmetros orbitais de Terra oscilam de acordo com a variação dos campos gravitacionais e magnéticos gerados pelo Sol, pela Lua e pelos outros planetas, especialmente Júpiter e Saturno<sup>88</sup> (SCAFETTA, 2010).

A Terra gira sobre um eixo que forma atualmente<sup>89</sup> um ângulo de  $23,5^\circ$  em relação ao plano de rotação. Esse não é um ângulo constante, pois varia de  $21,5^\circ$  a  $24,5^\circ$  ao longo de um período de 41.000 anos [Figura 22-(B)]. Quando o ângulo é menor, ocorrem diferenças menores de temperatura entre o verão e o inverno do que quando o ângulo é maior; com um ângulo maior, os invernos são mais frios e os verões mais quentes, devido aos diferentes tempos de exposição à insolação. A excentricidade orbital muda conforme ciclos de 100.000 anos<sup>90</sup>, variando entre mais circular (como agora) e mais elíptica e, em seguida, voltando a ser circular [Figura 22-(A)]. Quando é mais circular, então a distância entre a Terra e Sol varia pouco entre as estações; e quando a órbita é elíptica, há uma diferença significativa da distância Terra-Sol no verão e no inverno. O efeito da excentricidade no clima da Terra depende também da última característica orbital: a precessão dos equinócios. A Terra oscila sobre seu eixo em um movimento análogo ao de um pião, fenômeno conhecido *precessão dos equinócios*. Durante um período de 26.000 anos<sup>91</sup>, o eixo de rotação oscila e forma um círculo [Figura 22-(C)]. A oscilação determina a estação do ano durante a qual a Terra estará mais próxima do Sol (HARPER, 2007).

O efeito das três características orbitais fica claro quando todos os extremos se combinam: se a órbita é a mais excêntrica possível, se a oscilação coloca a Terra muito longe do Sol durante o inverno e se o ângulo do eixo é o máximo de  $24,5^\circ$ , então os invernos serão muito frios e verões

---

<sup>88</sup> A importância relativa dos três ciclos orbitais não foi constante ao longo dos milhões de anos. No passado, durante o Pleistoceno (iniciado há 2,6 milhões de anos atrás), o ciclo de 41 mil anos da obliquidade dominou a primeira parte dessa época, resultando em períodos glaciais e interglaciais de quase a mesma duração. Nos últimos 800 mil anos, o ciclo de 100 mil anos da excentricidade orbital tem predominado, e a duração dos períodos glaciais passou a ser de 5 a 10 vezes maiores do que os períodos interglaciais. As mudanças estão relacionadas a forças celestes: o comportamento orbital terrestre é afetado por forças gravitacionais do Sol, da Lua e dos planetas, em especial as perturbações induzidas por Júpiter e Saturno (van ANDEL, 1994; SCAFETTA, 2010).

<sup>89</sup> A inclinação está em fase de redução do seu ângulo no ciclo, e atingirá o valor mínimo em torno do ano 10.000 d.C.

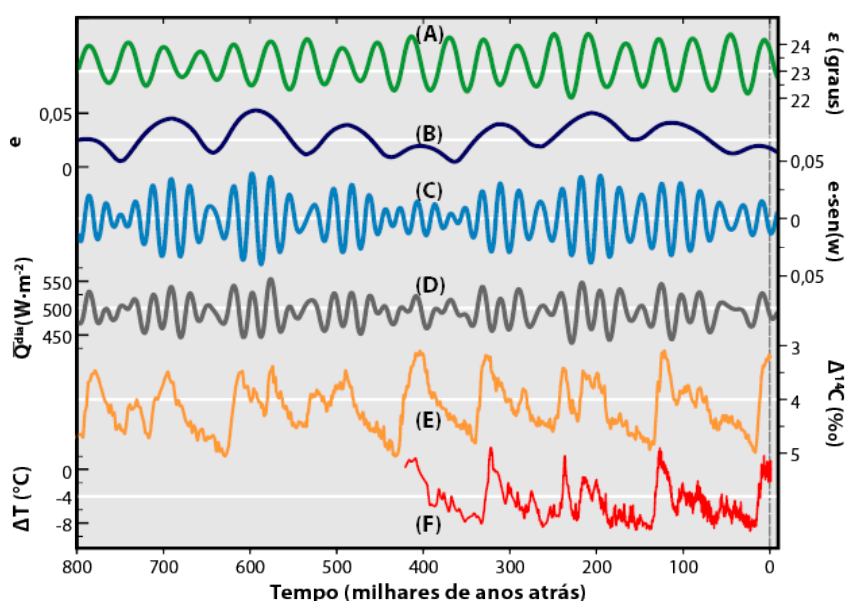
<sup>90</sup> Além do atual ciclo de 100 mil anos, a Terra possuiu no passado um ciclo de 400 mil anos na excentricidade. Registros durante o *Ótimo Climático do Mioceno* (16,9 a 13,5 milhões de anos atrás) revelam que as oscilações de alta frequência da excentricidade (100 mil anos) estavam sobrepostas com oscilações com períodos de 400 mil anos. Tais ciclos de baixa frequência indicam uma ligação entre forçamentos da excentricidade e mudanças no reservatório de carbono nos oceanos. O ciclo da excentricidade longa é considerado como um componente do “batimento cardíaco” do sistema climático da Terra. Ao longo do Ótimo Climático do Mioceno, ocorreram cerca de nove ciclos de 400 mil anos. No final do Mioceno, a expansão dos mantos de gelo, em especial o desenvolvimento de camadas de gelo permanentes na Antártida, suprimiu o ciclo de 400 mil anos no reservatório de carbono dos oceanos, melhorou a circulação do Oceano Pacífico profundo e, finalmente, favoreceu a variabilidade do clima conforme os ciclos de 100 mil anos (HOLBOURN et al., 2007; MA et al., 2011; PÄLIKE et al., 2006).

<sup>91</sup> O período de um ciclo completo dos equinócios, de cerca de 26.000 anos, é também conhecido como *Ano Platônico* ou *Grande Ano*. A precessão era desconhecida para Platão, mas ele definiu o Grande Ano como o retorno dos corpos celestes (planetas) e a rotação diurna das estrelas fixas para suas posições originais.

serão muito quentes. As variações orbitais alteram, além do total da quantidade de luz solar que atinge a superfície da Terra, também a distribuição da radiação no globo. A compreensão das variações orbitais induziu Milankovitch a relacionar a influência destas com os efeitos no clima terrestre de longo prazo, tornando-se a teoria mais plausível e aceita para a ocorrência das glaciações.

Milankovitch estudou dados astronômicos desde 600.000 anos atrás até 1.800 d.C. e calculou a quantidade de insolação em diferentes latitudes para cada ano. Em seguida, ele previu que as mudanças cíclicas induziriam as eras glaciais, quando o montante de radiação solar fosse o menor durante os meses de verão, reduzindo o derretimento da neve nas altas latitudes. Assim, a neve que caiu durante o inverno não derreteria durante o verão e, ano após ano, ao longo de milhares de anos, o gelo acumulado formaria geleiras que avançariam em direção ao equador que, por fim, produziriam uma idade do gelo (HARPER, 2007).

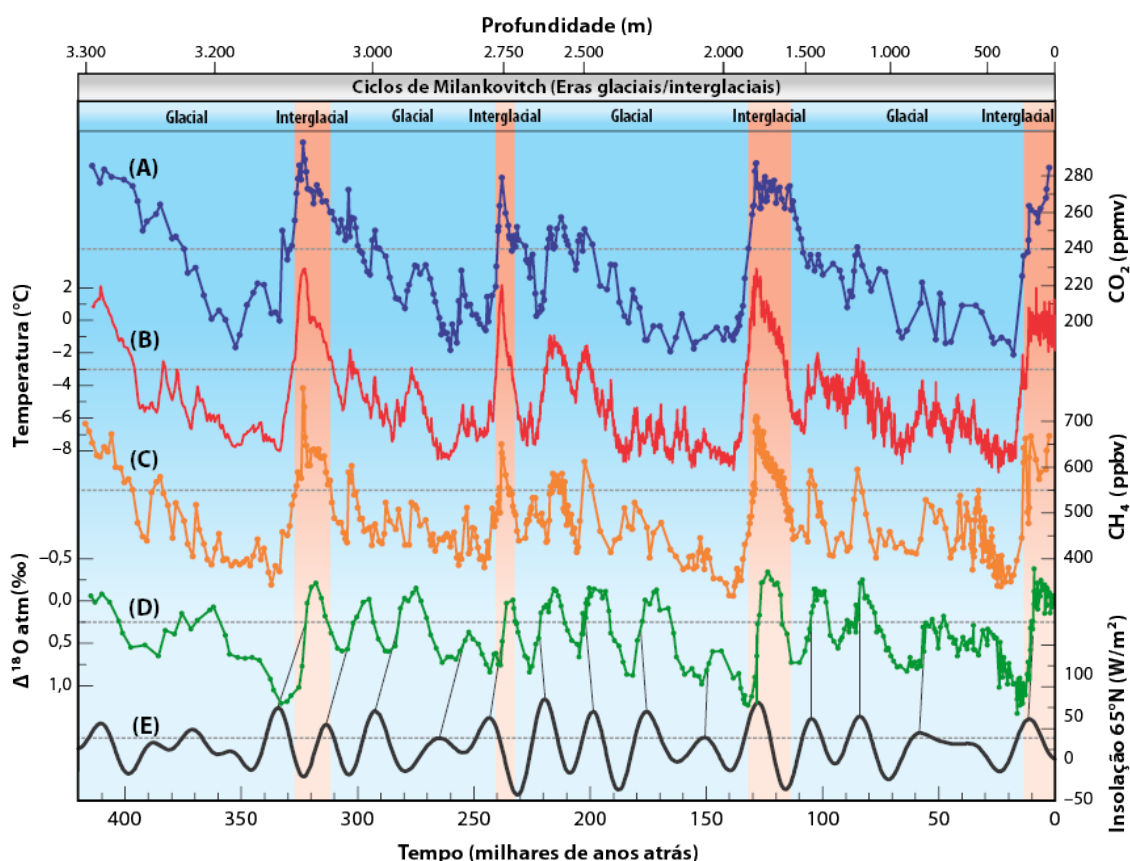
Cálculos aperfeiçoados e comparados com resultados paleoclimáticos recentes permitiram confirmar a ocorrência intercalada de *eras glaciais*<sup>92</sup> (frias) e *interglaciais* (quentes), fenômenos periódicos denominados de *ciclos de Milankovitch*, conforme ilustrado na **Figura 23**.



**Figura 23** – Parâmetros orbitais e ciclos de Milankovitch nos últimos 800 mil anos. **(A)** Obliquidade ( $\epsilon$ ) ou inclinação axial; **(B)** Excentricidade ( $e$ ); **(C)** Longitude do periélio ( $w$ ) e índice de precessão [ $e \cdot \text{sen}(w)$ ], que, juntamente com obliquidade, controla o ciclo sazonal da insolação; **(D)** Radiação média de insolação no topo da atmosfera ( $Q^{\text{dia}}$ ), no dia do solstício de verão na latitude  $65^{\circ}\text{N}$ . Foraminíferos bentônicos de sedimentos oceânicos e testemunhos de gelo em Vostok (Antártida) mostram duas reconstruções diferentes para **(E)** o nível do mar e **(F)** a variação da temperatura global no passado. A linha vertical cinza corresponde ao ano 2.000 d.C. Fonte: modificado de Fiedler (2009).

<sup>92</sup> Durante o último período glacial, ocorreram quasi-periodicamente algumas flutuações climáticas abruptas denominadas de *eventos de Dansgaard-Oeschger (D-O)*, com um tempo de recorrência de 1.470 anos. Os processos causadores e o período desses eventos ainda não estão claros, porém, os eventos podem ser causados por uma amplificação dos fenômenos solares, ou por uma causa interna do sistema de terra, como os modos quasi-estacionários do sistema atmosfera-oceano. No final de uma sequência de eventos de D-O durante um período prolongado de frio, ocorrem os *eventos de Heinrich*, a cada 10 mil anos. A ciclicidade de 1.470 anos também é encontrada durante o Holoceno, onde os eventos são chamados de *eventos de Bond*.

Análises de perfurações no gelo a mais de 3 km de profundidade na Estação Vostok – uma base de pesquisas localizada no centro da Antártida, a região mais fria da Terra – produziram um registro de condições ambientais do passado que remontam até 420 mil anos e que abrangem quatro períodos glaciais anteriores (**Figura 24**). É claramente visível que existe um padrão de correlação entre o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e a temperatura por quatro ciclos glacial-interglacial<sup>93</sup>.



**Figura 24** – Ciclos de Milankovitch registrados nos testemunhos de gelo. Séries de Vostok (curvas coloridas), insolação (curva preta) e períodos glaciais e interglaciais (preenchimentos verticais azuis e vermelhos, respectivamente). Séries com relação ao tempo (escala com indicação de profundidades correspondentes no eixo superior): **(A)** Dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ); **(B)** Temperatura isotópica da atmosfera; **(C)** Metano ( $\text{CH}_4$ ); **(D)** Composição isotópica de oxigênio ( $\Delta^{18}\text{O}_{\text{atm}}$ ); **(E)** Insolação, em meados de junho, na latitude  $65^\circ\text{N}$ . Fonte: modificado de Petit et al. (1999).

<sup>93</sup> Florides e Christodoulides (2009) explicam que o aumento de concentração de  $\text{CO}_2$  ocorre com atraso de 400 a 1.000 anos após a mudança de temperatura, portanto, indicando que a relação entre temperatura e  $\text{CO}_2$  parece ser exatamente o contrário do que se presume ser do modelo convencional de estudos do clima. Um gatilho inicial de mudança na temperatura (como pequenas mudanças na órbita da Terra, por exemplo) resulta em uma liberação de  $\text{CO}_2$  dos reservatórios naturais (como o oceano) para a atmosfera, com uma defasagem de alguns séculos.



Sabe-se que a solubilidade do  $\text{CO}_2$  nos oceanos varia de modo inversamente proporcional à temperatura, ou seja, há evidências de que o aumento (ou redução) de temperatura do ar cause a redução (ou aumento) das concentrações de  $\text{CO}_2$  nos oceanos, e não o contrário. Conseqüentemente, o  $\text{CO}_2$  atmosférico acompanha a temperatura, isto é, a concentração desse gás na atmosfera é diretamente proporcional à temperatura: no equilíbrio químico do gás carbônico, quanto maior a temperatura terrestre, menos gás será solubilizado nos oceanos na forma de ácido carbônico ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ) e, assim, maior é a concentração do  $\text{CO}_2$  na atmosfera (FLORIDES; CHRISTODOULIDES, 2009).

### **2.3.3. Variações da Atmosfera e Superfície Terrestre**

Além das variações solares e orbitais terrestres, as variações na composição da atmosfera e do uso e ocupação dos solos representam o terceiro fator de alteração do balanço de radiação terrestre, cuja consequência implica mudanças climáticas em diferentes escalas tempo-espaciais. As causas dessas variações podem ser devido às ações humanas ou devido a eventos naturais, principalmente por atividades vulcânicas e colisão de meteoritos e cometas.

#### **2.3.3.1. Aerossóis**

No contexto do clima, a principal causa humana de modificação da atmosfera é atribuído às emissões de gases de efeito estufa. Além dessa causa, a influência de aerossóis troposféricos pode estar associada à poluição industrial e à queima de combustíveis fósseis e biomassa vegetal.

Partículas sólidas de sulfato resultam da oxidação de dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ) emitido quando combustíveis fósseis são queimados. Processos industriais, a queima de biomassa vegetal natural ou induzida pelo homem e a erosão dos solos também contribuem com a formação, na troposfera, de gotículas e materiais particulados, ambos denominados aerossóis. Os aerossóis representam dois efeitos no sistema climático:

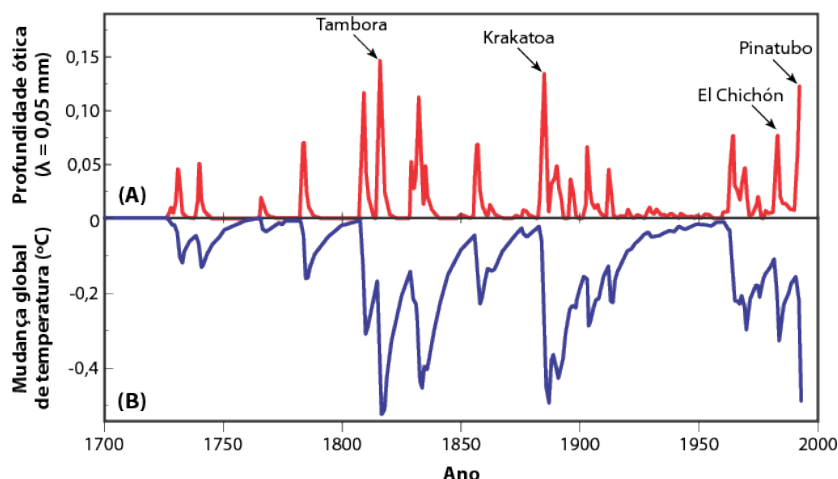
- O efeito direto da maioria dos aerossóis é refletir a radiação solar para o espaço e, conseqüentemente, conferir um esfriamento na área afetada; enquanto que alguns particulados, como a fuligem, são escuros e possuem o efeito contrário, causando um efeito de aquecimento local. A magnitude de resfriamento ou aquecimento depende da natureza dos aerossóis e da sua distribuição na atmosfera (MCGUFFIE; HENDERSON-SELLERS, 2005).

- O efeito indireto dos aerossóis é mais difícil de avaliar que os efeitos diretos, mas não por isso são menos importantes. Os aerossóis agem como núcleos de condensação adicionais, favorecendo a geração de gotículas que formam as nuvens. Com o aumento de nuvens, ocorre o incremento da refletividade delas e, conseqüentemente, menos radiação solar entra no sistema, resfriando o planeta (devido ao forçamento negativo gerado no balanço de radiação). O efeito das mudanças nas nuvens pode ter repercussões complexas, uma vez que as nuvens também afetam a quantidade de radiação reemitida pela superfície terrestre (MCGUFFIE; HENDERSON-SELLERS, 2005).

### 2.3.3.2. Atividade Vulcânica

A atividade vulcânica projeta grandes quantidades de partículas e gases na atmosfera, influenciando o mecanismo dos aerossóis descrito anteriormente e, portanto, afetando também o clima. A principal contribuição dos vulcões é decorrente de partículas estratosféricas de ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), que rapidamente se condensam e formam aerossóis de sulfato.

Erupções vulcânicas podem produzir anomalias significativas na temperatura, da ordem de décimos de graus centígrados. Grandes erupções vulcânicas – como os recentes casos do Monte Tambora (1815), Krakatoa (1883), El Chichón (1982) e Monte Pinatubo (1991), **Figura 25** – não são tão frequentes, porém, causam efeitos climáticos expressivos. Exemplos: as últimas cinco maiores erupções vulcânicas dos últimos 100 anos podem ter provocado a queda de 0,1 a 0,4 °C da temperatura média global; a erupção do Monte Pinatubo resultou no resfriamento de 0,5 °C; em consequência da erupção do Monte Tambora, maior erupção vulcânica recente, não houve verão no Hemisfério Norte e o resfriamento foi tão intenso que o ano de 1816 ficou conhecido como o *Ano Sem Verão*. Claramente, verifica-se um efeito notável dessas erupções no clima terrestre global. O vulcanismo entre 1250-1500 e 1550-1700, em conjunção com os efeitos climáticos do Mínimo de Spörer e de Maunder, tem sido cogitado como a possível causa da Pequena Era do Gelo (MCGREGOR; NIEUWOLT, 1998; MCGUFFIE; HENDERSON-SELLERS, 2005).



**Figura 25** – Impacto de erupções vulcânicas na temperatura, no período de 1700-2000. **(A)** Erupções e variações correspondentes da profundidade ótica (medida da quantidade de radiação solar que é bloqueada através de uma coluna da atmosfera. Quanto maior o valor, menor a passagem de radiação); **(B)** Variações da temperatura média global (desconsiderando forçamentos solares positivos, que compensam o efeito negativo do vulcanismo). Fonte: modificado de Bertrand, van Ypersele e Berger (1999).

Com menor frequência de ocorrência, erupções vulcânicas de elevada magnitude causaram, no passado, impactos drásticos e duradouros no clima terrestre. O caso do supervulcão Toba, localizado ao norte da Ilha de Sumatra na Indonésia, ilustra a grandeza desse tipo de fenômeno natural e o impacto climático decorrente. O *evento de Toba*, ocorrido há 73.000 anos atrás, representou a maior erupção vulcânica dos últimos 2 milhões de anos. Um volume de 2.500 a 3.000 km<sup>3</sup> de magma foi projetado – comparado ao volume de 100 a 200 km<sup>3</sup> da erupção de 1815 de Tambora – e 1% da superfície terrestre ficou coberta com 10 cm de cinzas vulcânicas. O sulfato vulcânico produzido nesta mega-erupção causou a queda de 10 °C no verão em altas latitudes, além de um *inverno vulcânico* de 6 anos, seguido por um período de resfriamento que durou 1.800 anos (RAMPINO; SELF, 1993; MASON; PYLE; OPPENHEIMER, 2004; WILLIAMS et al., 2009).

A atividade vulcânica varia ao longo de uma ampla gama de escalas temporais, desde ciclos com menos de um ano de período em sistemas vulcânicos únicos até intervalos que se estendem a escalas do tectonismo de placas. As conexões entre vulcanismo, o ciclo do carbono e o clima estão bem estabelecidas nas escalas de longo período<sup>94</sup>. Em escalas intermediárias (milhares de anos), relevantes para variações durante eras glaciais/interglaciais, Kutterolf et al. (2013) indicam que o vulcanismo está associado aos ciclos orbitais de Milankovitch, em especial com o período da obliquidade de 41 mil anos. Os autores sugerem que o clima da era glacial induz atividades vulcânicas por meio de mudanças de pressão na crosta associadas com as redistribuições de massas de gelo.

<sup>94</sup> Conforme será apresentado no item “2.3.5. Superciclos: Tectonismo, Vulcanismo e Raios Cósmicos”, p. 175.

### 2.3.3.3. Colisões de Asteroides ou Cometas

Uma causa externa de mudanças climáticas que influencia no fator da atmosfera deve-se à colisão de asteroides ou cometas<sup>95</sup> na superfície terrestre. Com alto poder de gerar mudanças severas, colisões de grandes corpos são eventos de baixa frequência, porém causaram as maiores catástrofes naturais da Terra. Os impactos de enormes colisões têm sido propostos como possíveis causas de grandes mudanças climáticas e também com efeitos devastadores à vida terrestre, implicando raros eventos de extinção em massa<sup>96</sup>. Muitos dos distúrbios causados pelos impactos de asteroides, como o aumento da concentração dos aerossóis troposféricos e estratosféricos, são similares aos distúrbios internos do sistema climático, tanto artificial (atividades antrópicas) quanto natural (vulcanismos) (MCGUFFIE; HENDERSON-SELLERS, 2005).

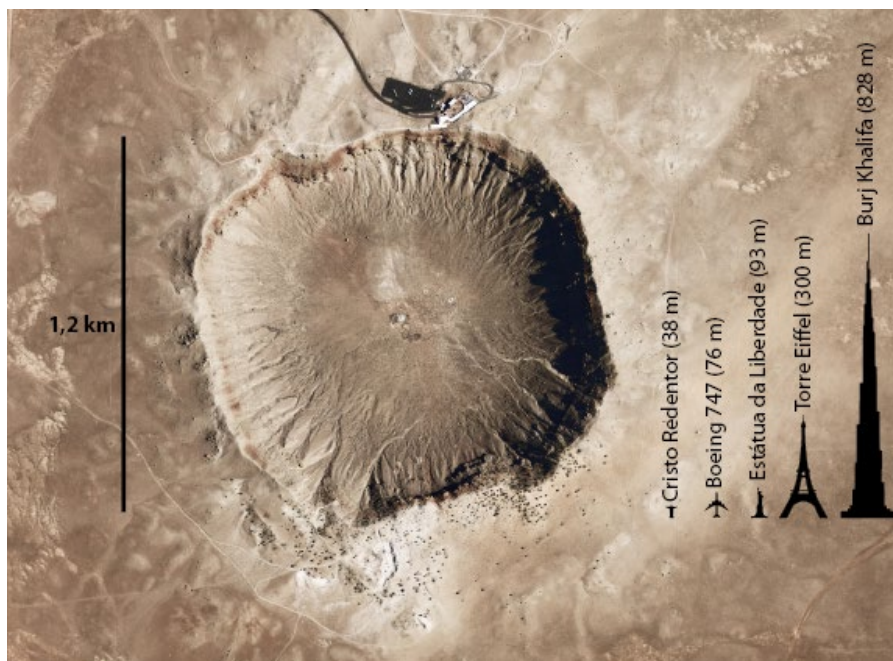
A Terra é continuamente bombardeada por detritos espaciais cujos tamanhos variam desde poeira microscópica até meteoritos; diariamente, mais de 100 meteoritos pesando cerca de 0,5 kg atingem o planeta. Bólidos maiores de 50 metros de diâmetro atingem a superfície, em média, a cada 1.000 ou 2.000 anos. O famoso caso da *cratera de Barringer* (**Figura 26**), ou também conhecida como a *Cratera do Meteoro*, é a maior cratera de impacto (ou *astroblema*<sup>97</sup>) dos Estados Unidos e o local do impacto de meteorito mais bem preservado do mundo. Liberando energia equivalente a uma bomba de hidrogênio (10 megatons TNT), o impacto de um meteorito, com 50 m de diâmetro, viajando a 12 km/s, deixou há 50 mil anos atrás um buraco de 1 km de diâmetro e 200 m de altitude em uma região localizada no deserto do Arizona, EUA (NASA, 2009).

---

<sup>95</sup> A principal diferença entre um *asteroide* e um *cometa* é a composição de cada um: os asteroides são constituídos por metais e material rochoso, enquanto que os cometas são compostos de gelo, poeira e material rochoso. Quando os cometas se aproximam do calor do Sol, o gelo e outros materiais na superfície aquecem até evaporar. Tais vapores são vistos como a “cauda” do cometa.

<sup>96</sup> Diante da ameaça constante da queda de um grande corpo celeste, diversos livros e filmes sugerem que a humanidade teria a necessidade de desenvolver mecanismos para monitorar e proteger-se contra as catástrofes provocadas pelos impactos. Esse cenário foi abordado nos filmes *Armageddon* (do Inglês: *Armageddon*) e *Impacto Profundo* (do Inglês: *Deep Impact*), ambos de 1998.

<sup>97</sup> Do grego *astron* + *blema* = “cicatriz de estrela”, termo poeticamente cunhado, em 1961, pelo geólogo e oceanógrafo norte-americano Robert Sinclair Dietz [1914-1995].



**Figura 26** – Fotografia aérea da cratera de Barringer (Cratera do Meteoro), a maior cratera de impacto dos Estados Unidos, localizada no Arizona. À direita, objetos em escala, para fins de comparação: Cristo Redentor; Boeing 747 (um dos maiores aviões do mundo); Estátua da Liberdade; Torre Eiffel; e Burj Khalifa (o maior prédio do mundo). Fonte: elaborado com base em imagem de NASA (2009).

Outro caso famoso é o *evento de Tunguska*, o maior episódio de impacto próximo à superfície Terra na história registrada. Ocorrida em 30 de junho de 1908, a queda do meteorito resultou na sua ruptura catastrófica acima do solo em uma região despovoada da Sibéria, na Rússia. O objeto, com tamanho estimado entre 60 e 190 metros de diâmetro, não chegou a atingir o solo e, logo, não criou uma cratera de impacto. Entretanto, gerou uma grande explosão em cerca de 10 km de altitude – na ordem de 3 a 30 megatons TNT, equivalentes a 1.000 bombas de Hiroshima – que derrubou cerca de 80 milhões de árvores em uma área de 2.000 km<sup>2</sup> (KVASNYTSYA et al., 2013).

Mais recentemente, o *evento de Chelyabinsk* ocorreu sobre uma região relativamente povoada da Rússia durante o amanhecer do dia 15 de fevereiro de 2013. Viajando a 20 km/s, o meteorito de 20 m explodiu entre 24 e 30 km de altitude e liberou 0,5 megatons TNT de energia. A onda de choque danificou milhares de janelas e centenas de pessoas foram hospitalizadas. Nos momentos mais intensos da explosão, a bola de fogo brilhou 30 vezes mais do que o Sol, causando queimaduras de pele e de retina. As explosões aéreas de Chelyabinsk foram as maiores desde Tunguska em 1908. Mas, ao contrário de outros acontecimentos históricos, a queda foi gravada por tecnologia moderna, incluindo satélites que fotografaram o meteoro a partir do espaço, bem como diversas câmeras de segurança e de vídeo pessoais que registraram imagens impressionantes do percurso da rocha cortando o céu e gerando um rastro de fumaça e fogo (BROWN et al., 2013; BOROVIČKA et al., 2013; SAMPLE, 2013).

Efeitos abruptos e duradouros no clima são causados por grandes asteroides com diâmetro a partir de 1 km, os quais têm um período médio de recorrência em torno de 100.000 anos. Impactos de objetos com 10 km ocorrem aproximadamente a cada 50 milhões de anos. A última ocorrência dessa magnitude sucedeu há 65 milhões de anos atrás com o *evento K-Pg* (antigamente conhecido como *evento K-T*<sup>98</sup>), que provocou uma extinção em massa e marcou o fim do período Cretáceo (K) e o início do Paleogeno (Pg).

Causando o evento mais devastador na história da vida na Terra, o impacto há 65 milhões de anos atrás de um grande asteroide ou cometa, com aproximadamente 10 km de diâmetro, criou um astroblema de 180 a 200 km de diâmetro, hoje denominada *cratera de Chicxulub*, soterrada ao sul da Península de Yucatán no México. Uma interpretação do fenômeno atribui ao evento a extinção de mais da metade das espécies do planeta, inclusive pondo fim à era dos dinossauros. A energia do seu impacto foi de 1 bilhão de vezes maior do que o da bomba lançada em Hiroshima. Além dos efeitos colaterais imediatos ao impacto do corpo celeste na superfície terrestre – incêndios globais, terremotos, tsunamis de mais de 100 metros que poderiam provocar inundações em regiões 20 km adentro dos continentes – efeitos ambientais catastróficos se sucederam, com o sistema climático drasticamente alterado devido à escuridão prolongada causada pela poeira e cinzas liberadas no impacto e ao *inverno de impacto* causado pelos aerossóis de sulfato. Um cenário de escurecimento completo, em que a poeira levantada pelo impacto impedia a luz solar de chegar à superfície, pode ter durado vários meses após o impacto. A intensidade de luz pode ter sido tão baixa que a fotossíntese cessou em grande parte da Terra e a visão pode ter sido impossível. O resfriamento global pode ter durado de anos a décadas, com a redução de 10 °C na temperatura da superfície terrestre (TOON; TURCO; COVEY, 1997; SCHULTE et al., 2010; AGÊNCIA FAPESP, 2010).

A maior extinção em massa de todos os tempos aconteceu há 254 milhões de anos atrás, no fim do período Permiano. O *evento P-Tr* (Permiano-Triássico), conhecido também como “A Grande Mortandade” pela NASA (2002), foi considerado “a mãe de todas as extinções em massa” pelo paleontólogo Douglas H. Erwin (ERWIN, 1993), paleobiologista especialista em Paleozoico e estudioso das causas desse evento. Entre outras possíveis explicações, a ideia de um impacto como a causa da extinção do Permiano foi levantada diversas vezes, mas somente recentemente foi encontrada uma cratera capaz de confirmar a teoria. Novas evidências de Tohver et al. (2012) sugerem que a cratera responsável pelo impacto fica entre os municípios de Araguainha e Ponte Branca, na fronteira dos estados de Mato Grosso e Goiás, Brasil. A cratera, chamada de *domo de Araguainha*, foi descrita por Crósta (1982, 1986, 2002); sua idade é muito próxima do limite Permiano-Triássico (CRÓSTA, 2012). Possui atualmente cerca de 40

---

<sup>98</sup> O evento é mais conhecido como evento Cretáceo-Terciário (K-T), mas o termo Terciário não é mais recomendando como uma unidade formal pela Comissão Internacional sobre Estratigrafia.

quilômetros de diâmetro, mas inicialmente teria 24 km de largura e 2,4 km de profundidade. Embora a cratera seja relativamente pequena, quatro vezes menor que a de Chicxulub, ainda assim, é o maior astroblema da América do Sul e uma das 20 maiores do mundo. A energia do impacto iniciou uma cadeia de eventos, incluindo tsunamis e milhares de terremotos de magnitude de até 9,9 na escala Richter – significativamente mais poderosos do que o maior registrado por sismógrafos modernos – em um raio de mil quilômetros em torno da cratera. Os efeitos desencadeados, como a provável emissão de grandes quantidades de metano, resultaram em uma imensa extinção em massa em que 90% de todas as espécies marinhas e 70% das espécies terrestres desapareceram (PIVETTA, 2013, UWA, 2013).

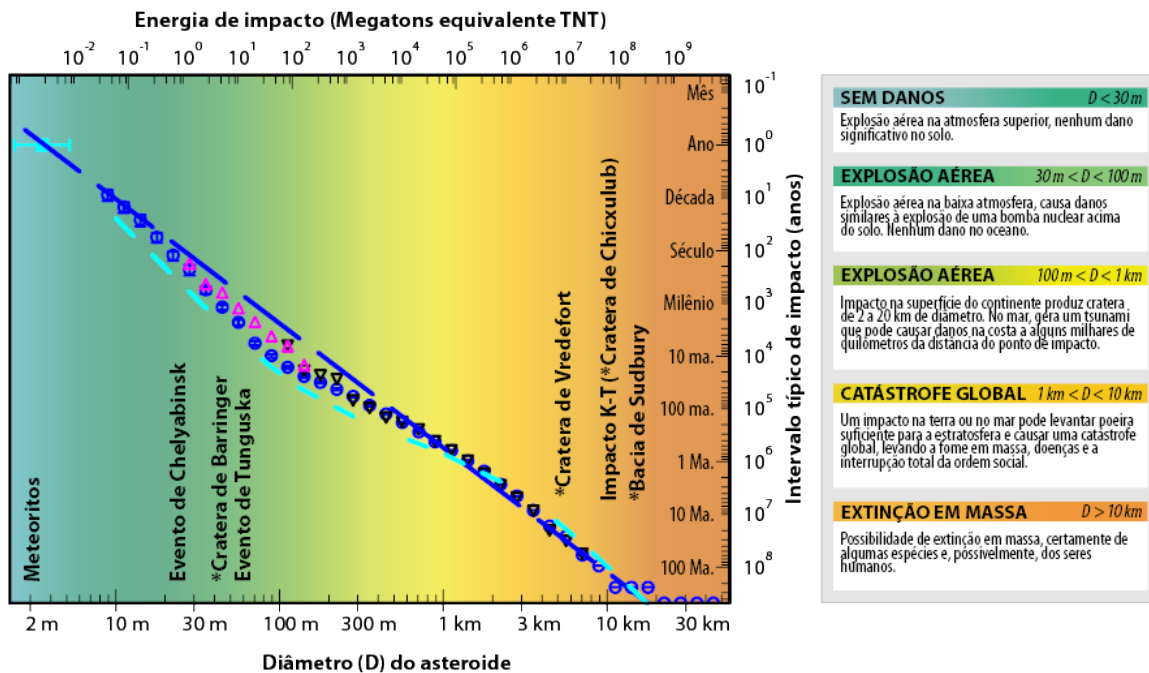
Em toda a história geológica da Terra, os dois maiores impactos confirmados de meteoros ocorreram no éon Proterozoico (de 2.500 a 542 milhões de anos atrás), quando surgiram as primeiras formas de vida unicelulares avançadas e multicelulares e, portanto, não se menciona a ocorrência de uma extinção em massa para esse período. Localizada na África do Sul, a *cratera de Vredefort* – hoje já bastante erodida – é o maior astroblema da Terra, com mais de 300 km de diâmetro. O asteroide que atingiu Vredefort, há 2.023 milhões de anos atrás, tinha aproximadamente de 5 a 10 km de diâmetro. Representando a segunda maior cratera de impacto conhecida do planeta, a *bacia de Sudbury* é uma grande estrutura geológica localizada em Ontário, Canadá. Ela foi formada, há 1.849 milhões de anos atrás, pelo impacto de um meteorito de 10 a 15 km de diâmetro, que gerou uma cratera de 250 km de diâmetro (FRENCH, 1998).

Atualmente estão sendo pesquisados dois grandes astroblemas, ainda não confirmados. O primeiro astroblema em estudo está situado perto da região de Maniitsoq da Groenlândia Ocidental, cujo asteroide de 30 km caiu há três bilhões de anos atrás e criou uma cratera de 600 km de largura e 25 km de profundidade. Se confirmada a sua existência, ela seria a maior cratera de impacto conhecida na Terra (COGHLAN, 2012; GARDE et al., 2012). O segundo astroblema, situado na Antártida oriental, é a *cratera da Terra de Wilkes*. Sob um manto de gelo de 2 km de espessura, há indícios da existência de uma cratera de aproximadamente 450 km de diâmetro, que foi gerada pelo impacto de um corpo de 45 km de diâmetro há 250 milhões de anos atrás (von FRESE et al., 2009, von FRESE et al., 2013). Essa época é compatível com o evento P-Tr, portanto, torna-se um forte candidato do impacto responsável pela mega-extinção.

O evento mais catastrófico de toda a história terrestre, considerada a hipótese consensualmente aceita para a causa da formação da Lua, praticamente destruiu a Terra, porém, ocorreu antes da existência de qualquer vida. A *hipótese do Impacto Gigante* explica que a Lua foi formada há aproximadamente 4,5 bilhões de anos atrás, a partir dos restos que sobraram de

uma colisão entre a Terra e um corpo do tamanho de Marte (cujo diâmetro é metade da Terra), chamado de *Theia*<sup>99</sup> (HALLIDAY, 2000).

A partir dos casos apresentados, infere-se que, quando maior o corpo, maior é intervalo existente entre eventos de magnitude similar. Essa relação diretamente proporcional entre o tamanho do meteorito e o tempo de recorrência está ilustrada na **Figura 27**.



**Figura 27** – Diagrama da frequência e energia do impacto de objetos com a Terra em função do tamanho do objeto. À direita, resumo dos efeitos esperados para cada classe de impacto. \*O local correspondente das indicações dos eventos e crateras na figura representa o diâmetro aproximado dos respectivos asteroides envolvidos; os diâmetros das crateras foram apresentados no texto. Legenda: ma. = milhares de anos; Ma. = milhões de anos. Fonte: modificado de Pierazzo e Artemieva (2012).

A distribuição espacial das estruturas de impacto conhecidas é bastante desigual, sendo que a maioria está localizada na América do Norte, norte da Europa e na Austrália (**Figura 28**). Devido à falta de estudos, a América do Sul é a região onde menos se tem a confirmação de crateras abertas por impactos de corpos celestes, totalizando somente 7 astroblemas contra 58 na América do Norte, 35 na Europa, 27 na Ásia, 24 na Austrália e 17 na África. O domo de Araguainha é a maior cratera do Brasil e a 16ª maior do mundo (AGÊNCIA FAPESP, 2004).

<sup>99</sup> Na mitologia grega, *Theia* é uma deusa e mãe de *Selene*, a deusa da Lua.



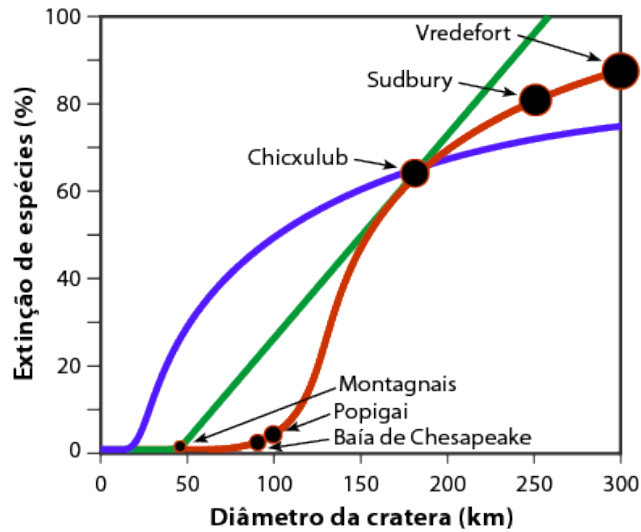


**Figura 28** – Distribuição das cerca de 180 estruturas de impacto confirmadas na Terra. Os eventos indicados por estrela (\*) não possuem cratera (os asteroides explodiram na atmosfera antes de atingir o solo). Fonte: modificado de Reimold e Jourdan (2012), os quais utilizaram dados (atualizados até 2011) obtidos a partir do *Earth Impact Database*<sup>100</sup>.

### 2.3.3.3.1 Extinções em Massa

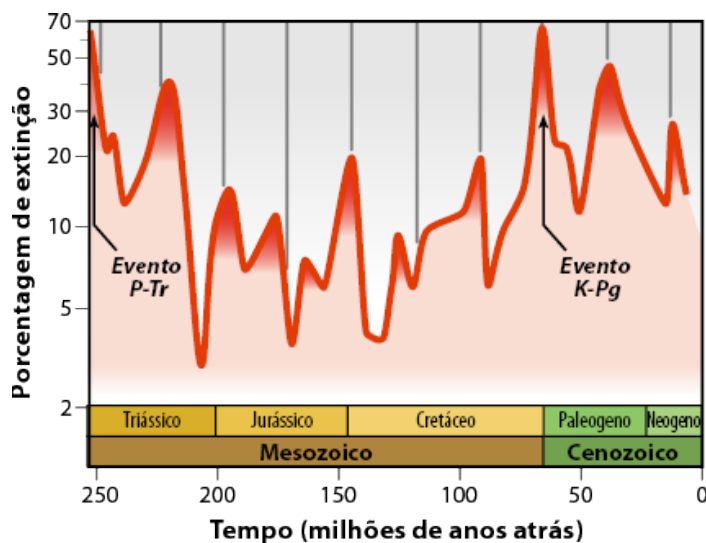
Além dos efeitos abruptos e impetuosos no clima terrestre como repercussão direta das colisões cósmicas, nota-se uma estreita relação entre a ocorrência de grandes episódios de impacto com eventos de extinções em massa na Terra (TIWARI; RAO, 2003). Confirmada por Schulte et al. (2010), a teoria do impacto para a extinção em massa do evento K-Pg foi delineada por Alvarez et al. (1980). Intuitivamente, quanto maior o astroblema, maiores são a energia do impacto e o grau de extinção de espécies, conforme fica ilustrada na **Figura 29** essa relação diretamente proporcional.

<sup>100</sup> <http://passc.net/EarthImpactDatabase/>



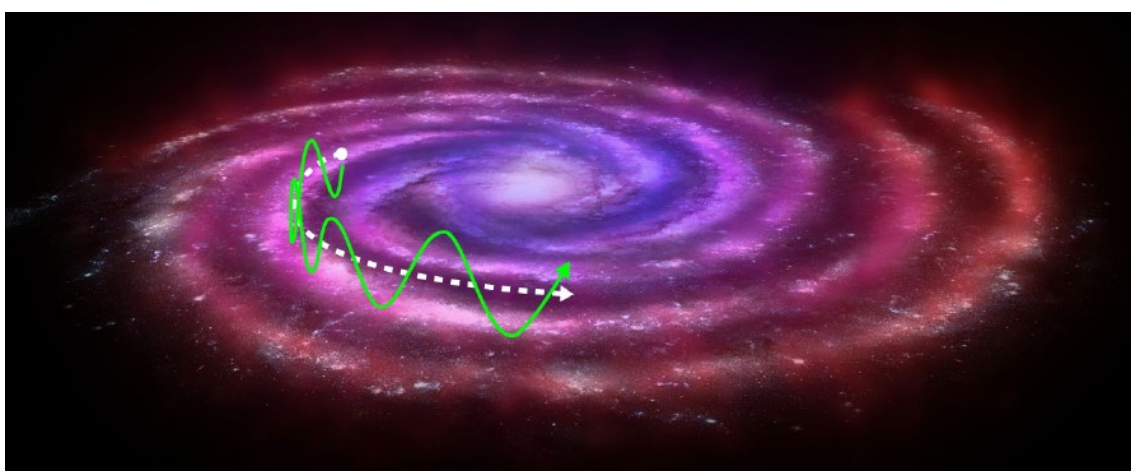
**Figura 29** – “Curvas da morte” indicando a relação entre a porcentagem da extinção em massa e tamanho do diâmetro da cratera deixada pelo impacto de um asteroide ou meteorito. As curvas verde, azul e vermelha foram obtidas respectivamente por Jansa, Aubry e Gradstein (1990), Rampino, Haggerty e Pagano (1997) e Prothero (2006). Pelas curvas azul e verde, previu-se que impactos muito menores poderiam causar extinções significativas. No entanto, a curva vermelha, mais atual, sugere que apenas os impactos maiores têm o potencial de causar extinções em massa. Fonte: modificado de Prothero (2006).

No diagrama apresentado na **Figura 27**, fica implícita a pressuposição de uma periodicidade média de colisões de asteroides e cometas na Terra de acordo com os seus tamanhos, ideia originária de Raup e Sepkoski (1984). Analisando a distribuição temporal das maiores extinções nos últimos 250 milhões de anos, os autores identificaram 10 eventos que apresentam uma periodicidade de aproximadamente 26 milhões de anos (**Figura 30**), possivelmente relacionada com forças astronômicas do Sol, do Sistema Solar ou da Galáxia.



**Figura 30** – Registro das extinções nos últimos 250 milhões de anos e indicação de ciclos de aproximadamente 26 milhões de anos (linhas verticais). Fonte: modificado de Raup e Sepkoski (1984).

Uma possível explicação da periodicidade das extinções em massa seria a passagem do nosso Sistema Solar através dos braços espirais da Via Láctea. Essa visão recebeu forte contribuição com a *hipótese de Shiva*<sup>101</sup> de Rampino e Haggerty (1996), a qual evoluiu para uma “teoria unificada de crises de impacto e extinções em massa” de Rampino; Haggerty e Pagano (1997) e, finalmente, para a “teoria galáctica de extinções em massa” de Rampino (1998). Em linhas gerais, a explicação astronômica periódica para tais pulsos de impactos pode estar associada aos movimentos do Sistema Solar através da Via Láctea: além de girar em torno do centro da Galáxia, o Sistema Solar também oscila para cima e para baixo através do plano galáctico com um meio-ciclo de aproximadamente 30 milhões de anos (**Figura 31**).



**Figura 31** – Representação esquemática do Sistema Solar circundando o centro da Via Láctea (sentido da linha tracejada branca), tendo como trajeto um movimento repetitivo de sobe e desce (“carrossel”) através do plano galáctico (curva verde). Fonte: Gibney (2014).

O ciclo galáctico conduz a Terra e o Sistema Solar a encontros quase-periódicos com nuvens interestelares e a variações periódicas na força da “maré galáctica”, cuja máxima ocorre em tempos de travessia do plano galáctico. O efeito de “carrossel galáctico”<sup>102</sup>, ocasionado pela poderosa força gravitacional exercida pela massa de nuvens de gás e poeira da Galáxia, pode implicar perturbações gravitacionais nos cometas da *nuvem de Oort*, produzindo chuvas periódicas de meteoros no Sistema Solar interior. Contudo, considerando que tais modelos não poderiam explicar uma força gravitacional forte o suficiente para causar o efeito, Randal e Reece (2014) especulam que, na verdade, uma camada mais densa de matéria escura, localizada no

<sup>101</sup> *Shiva* é uma divindade hindu da destruição e renovação, sendo uma das mais antigas divindades adoradas. Rampino e Haggerty (1996) a descrevem como uma ‘dançarina cósmica’: “ela segura em uma das mãos a chama da destruição e, na outra mão, o damaru, um tambor que regula o ritmo da dança, que simboliza a criação. Ela se move dentro de um anel de fogo – o ciclo cósmico – mantido por uma interação de destruição e criação, batucando um ritmo tão regular como qualquer relógio de colisões de cometas”.

<sup>102</sup> Para fins de melhor visualização didática do movimento do Sistema Solar ao redor do centro da Via Láctea, sugere-se dois vídeos de DjSadhu (2012, 2013) disponíveis nessas *URLs*: <https://youtu.be/C4V-oolTrws> e [https://youtu.be/0jHsq36\\_NTU](https://youtu.be/0jHsq36_NTU)

centro do plano galáctico, seria capaz de provocar as chuvas periódicas de meteoros (GIBNEY, 2014).

Segundo Matese et al. (1994), Rampino e Haggerty (1996), a melhor estimativa do próximo evento de grande impacto é ocorrer dentro dos próximos 600 mil anos. Todavia, considerando o desvio padrão do modelo de Matese et al. (1994) dos picos nos fluxos de cometas oriundos da nuvem de Oort, o valor com o intervalo de confiança para o próximo evento de impacto é de  $0,6 \pm 1,7$  milhões de anos, ou seja, já iniciou há 1,1 milhões de anos atrás e se estende até os próximos 2,4 milhões de anos. Assim, conforme afirmam os autores, pode-se dizer que hoje estamos no auge de uma contínua chuva de meteoros.

Para Stothers (1985), os episódios de impacto de crateras, no entanto, não são precisamente periódicos, pois o mecanismo galáctico deve ser em parte estocástico. A componente irregular pode ser atribuída à aleatoriedade na distribuição local espacial das nuvens interestelares (e outros objetos galácticos perturbados) e a componente periódica provavelmente surge da oscilação vertical harmônica do Sistema Solar através do plano galáctico. Assim, o modelo galáctico sobre o catastrofismo terrestre ainda é viável e pode ser testado de várias maneiras, seja por teorias ou observações.

Existem também modelos astrofísicos periódicos alternativos para a hipótese de Shiva, um deles envolvendo uma estrela binária companheira do Sol, chamada de *Nemesis*<sup>103</sup>, ou *Estrela X*, ou ainda *Estrela da Morte* (WHITMIRE; JACKSON, 1984; DAVIS et al., 1984); ou um décimo planeta, o *Planeta X*, orbitando além de Netuno (WHITMIRE; MATESE, 1985), ambos supostamente capazes de perturbar a rota de cometas a cada 28 milhões de anos. Todavia, segundo Rampino e Haggerty (1996), essas explicações são pouco prováveis<sup>104</sup>. Existe também uma hipótese semelhante de que os cometas entram no Sistema Solar a partir de uma região da nuvem de Oort devido a perturbações causadas, provavelmente, por um objeto com a massa de até 4 vezes a de Júpiter. Este planeta gigante gasoso hipotético foi apelidado de *Tyche*<sup>105</sup> (MATESE; WHITMIRE, 2011).

---

<sup>103</sup> *Nêmesis*, na mitologia grega, é a deusa que personifica a retribuição, destino, equilíbrio e vingança divina.

<sup>104</sup> Em 2012, o brasileiro Rodney Gomes, astrônomo do Observatório Nacional do Brasil, apresentou em encontro da Sociedade Americana de Astronomia resultados (GOMES; SOARES, 2012) que retomaram a busca de evidências sobre o Planeta X. Depois de calcular as órbitas de objetos do cinturão de Kuiper, o pesquisador notou que alguns desses objetos pareciam ser deslocados das órbitas esperadas. Segundo ele, a causa dessas órbitas irregulares seria provavelmente a presença de um companheiro solar de massa-planetária, com cerca de quatro vezes o tamanho da Terra – quase o tamanho de Netuno (TERRA, 2012; LOVETT, 2012). Recentemente, com base em efeitos gravitacionais observados em 6 objetos, confirmou-se a existência do Planeta X, agora denominado como “Planeta Nove”, em virtude da reclassificação de Plutão como um planeta anão. Possuindo cerca de dez vezes a massa da Terra, o nono planeta do Sistema Solar possui uma trajetória elíptica que leva de 10.000 a 20.000 para dar uma volta ao redor do Sol (HAND, 2016; RIBEIRO, 2016; WITZE, 2016). Como mais uma evidência da existência do nono planeta, a influência gravitacional dele foi recentemente proposta como possível causa da inclinação incomum e até então inexplicável de seis grãos do nosso Sol (DVORSKY, 2016).

<sup>105</sup> *Tyche* era a deusa grega da fortuna e da prosperidade. Como nome da “irmã benevolente” de Nemesis, Tyche foi escolhido para evitar confusão com uma suposta estrela companheira do Sol, Nemesis, hipótese cuja gravidade provocaria fluxos de cometas no Sistema Solar e conduziria a extinções em massa na Terra.

Nos registros fósseis terrestres, a periodicidade de eventos de extinções em massa, juntamente com os processos geo-bioclimáticos relacionados, ocorrem em períodos quasi-regulares que variam entre 27 e 33 milhões de anos, conforme estatisticamente constatado por Tiwari e Rao (2003) bem como por Melott e Bambach (2010). Assim, a repetição de eventos de extinção nos mesmos pontos em diferentes cruzamentos com os braços espirais da Galáxia sugere uma causa galáctica comum para a extinção em massa (GILLMAN; ERENLER, 2008).

Por mais de 30 anos, os cientistas têm discutido sobre a hipótese da periodicidade de impactos de bólidos e eventos de extinção biológica. Em publicações recentes, persistem alegações divergentes: de um lado, Rampino e Caldeira (2015) alegam que a hipótese dos impactos continua viável; de outro lado, para Erlykin et al. (2017), as causas astronômicas podem ser largamente descartadas e, para Bond e Grasby (2017), o vulcanismo em grande escala seria o principal motor de extinções em massa. Apesar de algumas hipóteses e observações sobre as causas das mega-extinções, o tema permanece, entretanto, uma questão ainda controversa e em constante debate no âmbito científico.

#### 2.3.3.4. Guerras Nucleares

A propósito, ainda que não seja uma causa natural de mudanças climáticas, encaixa-se neste ponto do texto a consideração sobre a ocorrência de guerras nucleares – uma potencial causa humana de mudanças climáticas – devido ao fato de seus efeitos serem bastante parecidos com os do *inverno vulcânico* e do *inverno de impacto*.

A possibilidade de ocorrência de uma guerra nuclear mundial durante a Guerra Fria<sup>106</sup> favoreceu o surgimento do termo *inverno nuclear*, proposto por Turco et al. (1983). As explosões das bombas nucleares produziriam efeitos semelhantes de resfriamento global, por causa das fuligens e aerossóis lançados na atmosfera. Para várias simulações feitas pelos autores, os efeitos da poeira e a fumaça geradas nas explosões poderiam reduzir os níveis médios de intensidade de luz a uma pequena percentagem durante semanas, além de provocar quedas a curto prazo da temperatura, na ordem de  $-15$  a  $-25$  °C. Enquanto isso, os modelos climáticos modernos confirmam que as previsões da década de 1980 sobre os efeitos do inverno nuclear foram, no mínimo, subestimadas (TOON; ROBOCK; TURCO, 2008).

Um fato distinto dos conflitos nucleares é a presença de mecanismos e efeitos específicos das causas naturais de mudanças da composição da atmosfera, tal como a radioatividade, que não está presente nas atividades vulcânicas nem quando os cometas ou asteroides atingem a Terra. A vulnerabilidade humana frente à ameaça de uma guerra nuclear seria muito maior em

---

<sup>106</sup> Retratado no filme *O Dia Seguinte* (do Inglês: *The Day After*), de 1983.

relação a efeitos indiretos – incluindo danos nas atividades agrícolas, transporte, energia, medicina, política e de infraestrutura social – especialmente devido aos efeitos adversos na produtividade e disponibilidade de alimentos, do que em relação aos efeitos diretos da guerra nuclear em si.

A compreensão sobre as consequências climáticas e os efeitos indiretos do colapso da sociedade, que seria tão grave que o inverno nuclear resultante produziria fome para milhões de pessoas, pode ter sido fator importante no fim da corrida armamentista entre os Estados Unidos e a União Soviética (URSS). Os presidentes das nações envolvidas, Ronald Reagan (EUA) e Mikhail Gorbachev (URSS), reconheceram o dano ambiental potencial relativo ao uso de armas nucleares e assinaram tratados para redução da quantidade de ogivas nucleares, que teve seu pico em 1986 e está em um declínio que continua até hoje. Entretanto, apesar da redução significativa nos arsenais nucleares americanos e russos, cada país ainda mantém armas suficientes para produzir um inverno nuclear (ROBOCK et al., 2007; TOON; ROBOCK; TURCO, 2008).

#### **2.3.4. Variações dos Oceanos e Magnetismo**

Além das três principais causas naturais de mudanças climáticas – variações solares, variações orbitais e variações na composição da atmosfera causadas por atividades vulcânicas e impactos de asteroides ou cometas – existem outras causas naturais que afetam o clima em diferentes escalas têmporo-espaciais. Destacam-se as oscilações oceânicas, a circulação termohalina, o magnetismo terrestre e os superciclos (tectonismo, vulcanismo e raios cósmicos).

##### **2.3.4.1. Oscilações Oceânicas**

Somente nos últimos anos os cientistas estão começando a reconhecer a influência dos ciclos oceânico-atmosféricos no clima<sup>107</sup>. Compo e Sardeshmukh (2009) alegam que o recente aquecimento da Terra ocorreu em grande parte em resposta a um aquecimento dos oceanos no mundo todo, e não como uma resposta direta à crescente emissão antropogênica de gases de efeito estufa. A importância dos oceanos na variabilidade climática é facilmente reconhecida pelos seguintes dados: os oceanos cobrem cerca de 71% da superfície terrestre; os oceanos possuem

---

<sup>107</sup> Flutuações periódicas de 35 anos nas interações oceano-atmosfera no Atlântico Norte ou originadas nas marés, relacionadas ao período de periastro lunar, são prováveis causas de características observadas em estudos de anéis de árvores e em certos sedimentos laminados. Objeto de investigação nos Países Baixos ainda no início do séc. 17, o ciclo de 35 anos ganhou notoriedade com os estudos de mudanças nos níveis do mar Cáspio conduzidos pelo Professor alemão Eduard Brückner, motivo pelo qual a periodicidade é ora conhecida como *Ciclos de Brückner*, tema tratado no CAPÍTULO 1, item “1.6.4.2. Ciclos de Brückner” (p. 78).

1.000 vezes mais massa ( $1,3 \cdot 10^{210}$  kg) do que toda a atmosfera ( $5 \cdot 10^{18}$  kg); a capacidade térmica dos oceanos é 1.000 vezes maior do que a da atmosfera; e, por fim, os oceanos absorveram, desde 1960, 20 vezes mais calor do que a atmosfera (BINDOFF et al., 2007). Resumindo, os oceanos são os maiores reservatórios de calor na Terra. Entre os oceanos e a atmosfera, a troca de calor impulsiona os ventos e a circulação atmosférica em todo o mundo. Os ventos, por sua vez, geram as correntes oceânicas superficiais e a circulação termohalina. Assim, a imensa quantidade de calor dos oceanos e a estreita relação com atmosfera corrobora o efeito extremamente importante dos oceanos sobre o clima global.

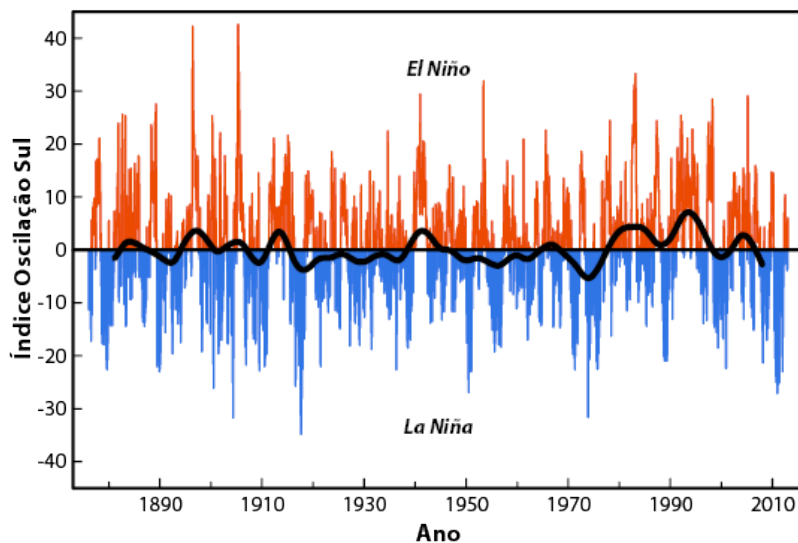
Representando a oscilação oceânica-atmosférica mais conhecida, o *El Niño – Oscilação Sul (ENOS)* é a flutuação climática mais forte na Terra em escalas de tempo interanuais, representando impactos globais, embora seja originário no Oceano Pacífico tropical. As componentes oceânicas do ENOS, *El Niño*<sup>108</sup> e a *La Niña*<sup>109</sup>, representam as variações quasi-periódicas (de 2 a 7 anos) da temperatura das águas superficiais do Pacífico tropical oriental. A componente atmosférica, *Oscilação Sul*, reflete as flutuações mensais ou sazonais na diferença de pressão de ar no Pacífico ocidental. As duas variações estão acopladas: a fase oceânica quente (El Niño) acompanha a alta pressão superficial do ar, enquanto a fase fria (La Niña) acompanha a baixa pressão superficial do ar.

Estudo de Mclean, Freitas e Carter (2009) relata que o ENOS pode ser um dos principais condutores de anomalias de temperatura, não só nos trópicos, mas representando também uma influência dominante e consistente na escala global. Os autores afirmam que o forçamento do clima associado ao ENOS contribui majoritariamente para a variabilidade e tendências recentes e, talvez, contribua inclusive na temperatura global, fato nem sempre considerado nos modelos climáticos globais atuais. Molion (2006) aponta que as temperaturas médias globais, obtidas por meio de satélites desde 1979, aumentaram quando da ocorrência de eventos El Niño e diminuíram quando da ocorrência de eventos La Niña. O autor afirma que o sistema Terra-atmosfera pode sofrer, naturalmente, uma variação de temperatura de cerca de 1,5 °C entre fases fria e quente do ENOS (**Figura 32**).

---

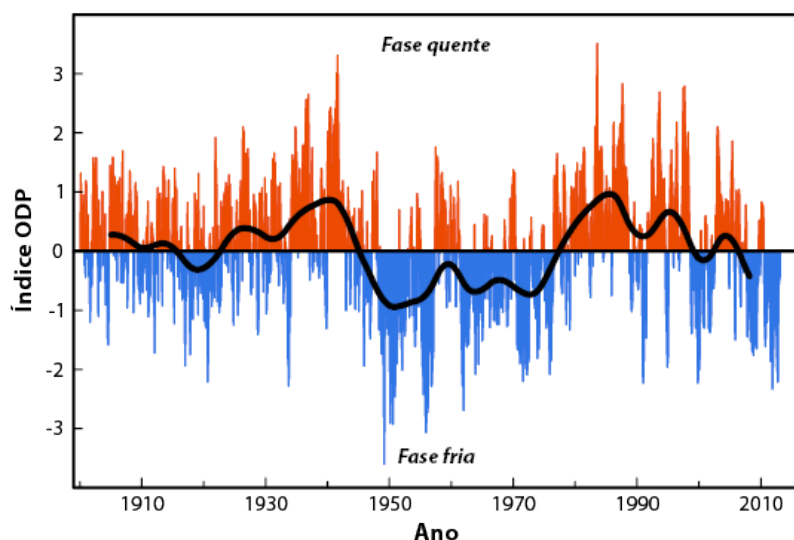
<sup>108</sup> O nome derivado do Espanhol, *El Niño* (“o menino”), refere-se ao menino Jesus, já que o fenômeno é geralmente observado durante a época do Natal no Oceano Pacífico, ao longo da costa oeste da América do Sul. Os pescadores nessa região observaram que, normalmente no fim do ano, a baixa quantidade de peixes estava associada à ocorrência de temperaturas do mar mais altas do que o normal. O extenso aquecimento dos oceanos e a redução dos ventos alísios de leste limitam a ressurgência de águas frias profundas, ricas em nutrientes, impactando negativamente na pesca local.

<sup>109</sup> *La Niña* (“a menina”, do Espanhol) representa a fase fria, oposta ao *El Niño*, no âmbito do fenômeno ENOS.



**Figura 32** – Índice Oscilação Sul. Valores anuais (de 1876 a 2013) indicando períodos de El Niño (vermelho) e La Niña (azul). Curva preta: média móvel de 12 meses. Fonte: modificado de Giorgio (2013a).

O Oceano Pacífico – o maior oceano da Terra, cobrindo quase 1/3 da superfície global (31%) – possui, além do ENOS, a *Oscilação Decadal do Pacífico (ODP)*<sup>110</sup>, um padrão periódico de mudança da temperatura superficial que afeta o hemisfério norte na região de latitude 20°N. Com ciclos multidecadais, a ODP atravessa uma fase quente e uma fria geralmente a cada 50-70 anos (**Figura 33**). Uma amplificação do ENOS combinada com forçamentos atmosféricos estocásticos é a hipótese predominante sobre a causa da ODP (NEWMAN; COMPO; ALEXANDER, 2003).

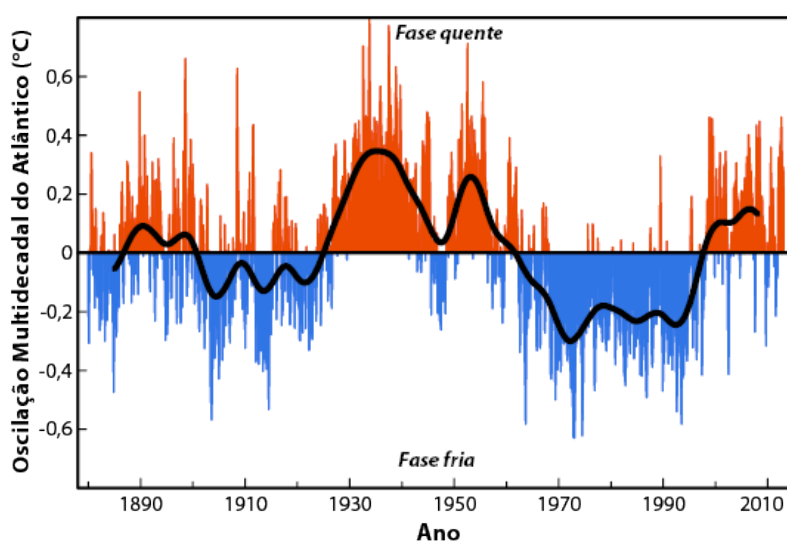


**Figura 33** – Índice Oscilação Decadal do Pacífico. Valores anuais (de 1900 a 2013) indicando as fases quente (vermelho) e fria (azul). Curva preta: média móvel de 12 meses. Fonte: modificado de Giorgio (2013b).

<sup>110</sup> A ODP foi nomeada por Steven R. Hare, que a percebeu enquanto pesquisava, em 1997, as relações entre os ciclos de produção do salmão no Alasca e o clima do Pacífico (MANTUA et al., 1997).



Com quasi-ciclo de 50 a 90 anos (**Figura 34**), a *Oscilação Multidecadal do Atlântico* (OMA) é um *modo*<sup>111</sup> de variabilidade natural no Oceano Atlântico Norte que representa uma influência dominante na temperatura do ar e precipitação sobre grande parte do hemisfério norte, em particular, na América do Norte e Europa. A OMA é acompanhada pela *Oscilação do Atlântico Norte* (OAN), um modo de variabilidade multidecadal da pressão ao nível do mar. Exibindo padrões de temperatura da superfície do mar semelhante à OMA, a *Oscilação Interdecadal do Pacífico* (OIP), com um ciclo variando entre 15 e 30 anos, afeta tanto o norte quanto o sul do Pacífico.



**Figura 34**— Oscilação Multidecadal do Atlântico. Valores anuais (de 1880 a 2013) indicando as fases quente (vermelho) e fria (azul). Curva preta: média móvel de 12 meses. Fonte: modificado de Giorgio (2013c).

A *Oscilação Madden-Julian* (OMJ), também conhecida como a oscilação ou onda de 30-60 dias, é o maior elemento da variabilidade intrasazonal que afeta toda a troposfera tropical, porém com maior evidência nos Oceanos Índico e Pacífico ocidental. Basicamente, a OMJ consiste na propagação de uma onda atmosférica na direção zonal (sentido leste) ao longo do globo terrestre e em torno do equador. Com padrões de larga escala e acoplamento entre circulação atmosférica e convecção profunda, a OMJ envolve variações

<sup>111</sup> A variabilidade natural do sistema climático, particularmente em escalas de tempo sazonais até decadais, ocorre predominantemente com padrões espaciais e temporais preferenciais, por meio das características dinâmicas da circulação atmosférica e das interações com as superfícies terrestres e oceânicas. Tais padrões, frequentemente chamados de *modos*, *regimes*, *teleconexões* ou *dipolos*, são comumente utilizados na descrição das diferentes oscilações atmosféricas-oceânicas sazonais, multianuais e multidecadais. Um *modo* de variabilidade climática é, em outras palavras, um padrão de clima com características identificáveis, efeitos regionais ou globais específicos e com comportamento geralmente oscilatório, que remete ao uso do termo *modo oscilatório*. Um modo pode ser também entendido como uma tendência de o sistema climático variar de uma maneira particular, geralmente uma oscilação entre dois estados preferenciais (*fases* ou *dipolos*), ao invés de uma mudança permanente.

no vento, temperatura da superfície do mar, nebulosidade e, principalmente, na precipitação (ZHANG, 2005).

Além dos já mencionados, cabe citar que existem outros modos de variabilidade climática:

- *Oscilação Quasi-Bienal (OQB)*: oscilação nos campos do vento zonal e temperatura da estratosfera tropical, com período de 27 a 28 meses.
- *Padrão Pacífico/América do Norte*: teleconexão que relaciona um padrão de circulação atmosférica sobre o Oceano Pacífico Norte com um padrão de circulação atmosférica no continente norte-americano.
- *Modo Anular do Norte (MAN)* e o *Modo Anular do Sul (MAS)* – novas denominações, respectivamente, da *Oscilação do Ártico (OA)* e da *Oscilação da Antártida (OAA)*: estão associados a padrões de pressão atmosférica nas latitudes polares e médias. Nessas regiões, um cinturão de ventos (ou sistemas de baixa pressão) se move para o norte ou para o sul, conforme o modo de variabilidade.
- *Modo Equatorial do Atlântico (MEA)* ou “El Niño do Atlântico”: padrão climático que ocorre na direção zonal (leste-oeste), em escalas de tempo interanuais, no Oceano Atlântico equatorial. Esse modo quasi-periódico resulta na alternância entre aquecimento/resfriamento da superfície do mar, acompanhado por mudanças na circulação atmosférica.
- *Dipolo do Atlântico Tropical (DAT)*: refere-se a um padrão norte-sul da temperatura de superfície do mar com predominância em escalas de tempo de décadas, com um período em torno de 12 anos.
- *Dipolo do Oceano Índico (DOI)*, também conhecido como o “El Niño Indiano”: oscilação irregular das temperaturas da superfície do mar no Oceano Índico Ocidental acompanhada por anomalias nos ventos e na precipitação. A componente atmosférica do modo DOI é denominada *Oscilação do Oceano Índico Equatorial (OOIE)*.

Cada oscilação possui forças diferentes de acoplamento entre atmosfera e oceano, assim como elas diferem na intensidade de mudança dos padrões climáticos e no nível de influência das características climáticas locais, regionais e até mesmo globais. Os mecanismos causadores das oscilações ainda permanecem incertos e desconhecidos. Embora as oscilações climáticas sejam induzidas por dinâmicas oceânicas internas ainda pouco compreendidas, os principais modos de variabilidade climática, como o ENOS, a ODP e a OMA, podem ser induzidos, segundo Scafetta (2010, 2012a), por forçamentos periódicos extraterrestres complexos que agem sobre o clima por meio de mecanismos de amplificação e de retroalimentação.

Os planetas do Sistema Solar influenciam o clima da Terra por meio da modulação dos parâmetros orbitais do sistema Terra-Lua e da Terra. Tais parâmetros podem modular o momento angular da Terra por meio de marés gravitacionais e forças magnéticas. Assim, as oscilações orbitais são amplificadas pelo sistema climático devido à sincronização dos osciladores naturais. Essa interpretação de Scafetta (2010) é apoiada nos registros de temperatura que contêm um ciclo nítido de 9,1 anos relacionado a ciclos de *marés lunares* de longo prazo. Analogamente, outras oscilações atmosférico-oceânicas seriam provavelmente impulsionadas por oscilações astronômicas.

#### 2.3.4.1.1 Influência da Lua

Além das *marés oceânicas*, percebidas pelas repetitivas alterações no nível das águas dos oceanos, a combinação de forças gravitacionais exercidas pela Lua e pelo Sol (este com menor influência) no campo gravitacional da Terra também ocasiona, em escala global na atmosfera, oscilações periódicas conhecidas como *marés atmosféricas*.

A Lua pode alterar o clima ao parcialmente modular as correntes do oceano (modificando a intensidade do processo de ressurgência dentro dos oceanos) e também pode alterar os padrões de pressão do ar por meio de forças gravitacionais. Scafetta (2010) sugere uma possível influência da Lua sobre o clima na Terra ao apresentar que diversos registros de temperatura mostraram um ciclo de aproximadamente 9,1 anos, periodicidade que é quase a metade do *ciclo de Saros*<sup>112</sup> (18,1 anos) ou do *ciclo nodal lunar*<sup>113</sup> (18,6 anos), também conhecido como *Oscilação Lunissolar*

---

<sup>112</sup> Um *ciclo de Saros* corresponde a um período de 6.585,3 dias (ou 18 anos e 11 dias), que pode ser usado para prever os eclipses do Sol e da Lua.

<sup>113</sup> O *ciclo nodal* é a variação da declinação do plano da órbita da Lua com relação ao equador terrestre, que varia de 18,4° a 28,6° de latitude a cada 18,6 anos (período da precessão dos nodos orbitais da Lua). A Lua passa cerca de 10 anos fora dos trópicos e 8,6 anos dentro dos trópicos. Quando está fora dos trópicos, seu percurso em 28 dias é mais “meridional” (norte-sul), acelerando as correntes marinhas que transportam mais calor para fora dos trópicos, aquecendo o Oceano Atlântico Norte. Quando está dentro dos trópicos, o mesmo percurso de 28 dias é mais “zonal”, distribuindo o calor na direção leste-oeste e exportando menos calor para fora dos trópicos, logo, acumulando o calor na região equatorial. Nessa situação, existe

ou *ciclo Draconiano*<sup>114</sup>.

Conduzidas pelos ciclos de Saros e Draconiano, as marés atmosféricas lunares de longo prazo podem indiretamente propiciar condições para a ocorrência de eventos de El Niño/La Niña que aquecem/resfriam a Terra. As condições favoráveis para o surgimento desses dois eventos ocorrem pela ação das marés lunares na transição dos padrões da pressão atmosférica e da dinâmica dos ventos alísios no Oceano Pacífico. Assim, mudanças na frequência relativa dos eventos El Niño/La Niña podem ser responsáveis por grande parte das mudanças observadas na temperatura média terrestre durante o séc. 20 (WILSON, 2013).

McKinnell e Crawford (2007) notaram que existe uma forte relação entre períodos de baixa declinação lunar com ocorrência de alguns fortes eventos de El Niño em 1940/41, 1957/58 e 1997/98. Em 2007, os autores já alertavam que a ocorrência de um El Niño intenso em 2015 despertaria a atenção para esta, até então, “coincidência”. De fato, o ano de 2015 apresentara um dos maiores eventos de El Niño já registrados. Cerveny e Shaffer (2001) e Molion (2017) reportaram uma correlação estatística entre uma modulação lunar nodal e o ENOS, confirmando que grandes eventos de El Niño ocorreram em anos de declinação lunar mínima. É amplamente aceito que o ciclo nodal altera as misturas das marés, a circulação oceânica e o transporte de calor de grande escala no Oceano Pacífico Norte. Com as marés enfraquecidas, a redução da advecção de água fria favorece condições mais quentes da superfície do mar, característica típica do El Niño (YASUDA; OSAFUNE, 2006).

Keeling e Whorf (1997) propuseram que marés extremas podem produzir mudanças cíclicas na temperatura superficial dos oceanos. As alterações, com período de aproximadamente 90 anos, refletem leves graus de desalinhamento nas ocasiões de maior aproximação da Terra com a Lua e o Sol, momentos de extremas forças de maré. A dissipação da energia das marés extremas aumenta a mistura vertical da água do mar, favorecendo o arrefecimento episódico na superfície oceânica.

---

grande chance de disparar um evento El Niño iniciando no Pacífico Leste: a força gravitacional da Lua, juntamente com os ventos alísios, seria responsável por empurrar e empilhar, inicialmente, as águas no Oceano Pacífico Ocidental, criando as condições oceânicas propícias (“gatilho”) que antecedem um evento El Niño forte. Dessa forma, a Lua pode interferir no clima global/regional indiretamente por meio de sua ação gravitacional ao modificar, em primeiro lugar, a velocidade das correntes marinhas e o transporte de calor meridional nos oceanos e, na sequência, mudar a configuração da temperatura da superfície do mar, particularmente nos setores norte dos Oceanos Atlântico e Pacífico, que têm suas bacias fechadas. (MOLION, 2015; SIQUEIRA; MOLION, 2015; MOLION, 2017).

<sup>114</sup> A órbita da Lua se encontra em um plano com uma inclinação de cerca de cinco graus em relação ao plano da eclíptica. O *ciclo Draconiano* (ou *Dracônico*) está relacionado com os caminhos da Lua e do Sol. Os dois pontos onde o caminho da Lua cruza o caminho aparente do Sol, na eclíptica, são chamados de *nodos orbitais da Lua*. A eclíptica deve seu nome ao fato de que um eclipse do Sol ou da Lua só pode acontecer quando a Lua está nesses nodos, ficando o Sol, a Terra e a Lua alinhados. O termo *Dracônico/Draconiano* refere-se um dragão mitológico que supostamente vivia nos nodos e regularmente “comia” o Sol ou a Lua durante um eclipse. A força gravitacional da Lua sobre a Terra causa uma pequena oscilação periódica do eixo de rotação terrestre, com o mesmo ciclo de 18,6 anos, fenômeno conhecido na Astronomia como *nutação*, do latim *nutatio* (balanço).

Causadas por ressonâncias nos movimentos periódicos da Terra e da Lua, as variações quasi-periódicas na força das marés oceânicas globais também podem estar associadas, na escala de tempo milenar, a um ciclo de marés com período bastante definido de 1.800 anos. Este ciclo pode ser reconhecido como a principal condicionante de mudanças mais proeminentes e extensas no clima durante o Holoceno: a Pequena Idade do Gelo, por exemplo, pode ser interpretada como apenas um episódio de resfriamento em uma série de tais ciclos. Assim, a previsão de “aquecimento global pronunciado” nas próximas décadas seria reinterpretada como a continuação de um aquecimento natural gradual que vem ocorrendo desde o fim da pequena Idade do Gelo (KEELING; WHORF, 2000).

### 2.3.4.2. Circulação Termohalina

A circulação termohalina é um componente-chave do sistema climático. Conduzido pelos diferentes gradientes de densidade criados pelo calor da superfície e pelos fluxos de água doce, o mecanismo das correntes oceânicas transporta grandes quantidades de calor e sal a partir do equador em direção aos polos. Uma mudança na força da circulação termohalina pode levar a grandes mudanças climáticas regionais e globais. Um hipotético colapso no transporte de calor poderia provocar um deslocamento para o sul da Zona de Convergência Intertropical, além de desencadear um evento de El Niño (LAURIAN et al., 2010).

De acordo com Wood, Vellinga e Thorpe (2003), uma interrupção da circulação pode ser grave, implicando o resfriamento do Hemisfério Norte, sendo que em algumas regiões a magnitude poderia ser maior do que as mudanças esperadas pelo aquecimento global nos próximos 50 anos. Estudo de Bryden, Longworth e Cunningham (2005) relata que a circulação diminuiu substancialmente na metade do século passado, em cerca de 30%. Tal fato poderia implicar a redução de 4 °C da temperatura média na Europa, provocando uma pequena era do gelo<sup>115</sup>.

---

<sup>115</sup> A interrupção fictícia da Corrente do Golfo inspirou o filme *O dia depois de amanhã* (do Inglês: *The Day After Tomorrow*) em 2004. Mas segundo Schiermeier (2005), as mudanças drásticas do clima retratadas no filme – em que Nova York é engolida por uma idade do gelo instantaneamente – são mera fantasia. Não está claro se existe uma relação do aquecimento global com a tendência de enfraquecimento da circulação termohalina. Possíveis distúrbios – tais como redemoinhos do oceano e flutuações naturais na força do sistema de circulação – devem ser considerados. Apesar das possíveis repercussões climáticas significativas, a chance de ocorrência de um colapso iminente do sistema de circulação é pequena. Schiermeier (2006) aponta que os resultados de Bryden, Longworth e Cunningham (2005) surpreenderam os cientistas da área, uma vez que tais resultados poderiam ser causados por variação natural ou “ruídos”, ou seja, simples coincidência. Mesmo se os resultados estivessem corretos, o enfraquecimento da circulação termohalina não teria os efeitos drásticos de resfriamento que foram previstos para a Europa. Por fim, Schiermeier (2006) cita a seguinte frase de Wallace S. Broecker, um dos primeiros cientistas a notar efeito do transporte global do clima: *“A noção de que um colapso da circulação termohalina pode desencadear uma pequena era do gelo é um mito”*.

Trabalho de Willis (2010) indica que a circulação termohalina não tem mais sofrido desaceleração significativa nos últimos 15 anos; ao contrário, é sugerido que a circulação pode mesmo ter acelerado cerca de 20% no passado recente. Segundo NASA (2010), as mudanças verificadas são, provavelmente, parte de um ciclo natural, coincidindo com um padrão natural decadal de aquecimento e resfriamento do Atlântico.

#### **2.3.4.3. Magnetismo Terrestre e Inversões Magnéticas**

O magnetismo terrestre e sua influência no clima é um tema de pesquisas recentes. A correlação entre geomagnetismo e o clima pode estar associado ao campo magnético terrestre, cujas variações estão ligadas a correntes externas na ionosfera e magnetosfera induzidas pelos ventos solares e pela radiação eletromagnética. Portanto, a evolução da tendência magnética possui alta correlação com a evolução da radiação solar. As variações entre a temperatura média e variações no campo geomagnético são tentadoras. Todavia, essa correlação aparente não é por si só suficiente para demonstrar uma conexão de causa e efeito (COURTILLOT et al., 2007).

Os deslocamentos dos polos magnéticos nos últimos 105 anos demonstraram forte correlação com variações na temperatura, sugerindo uma conexão potencial entre esses dois fenômenos. O movimento dos polos magnéticos afeta o formato do campo geomagnético e, conseqüentemente, altera os padrões de proteção da Terra contra raios cósmicos galácticos e solares. Assim, os deslocamentos afetam a distribuição e dispersão de raios cósmicos em áreas mais sensíveis da atmosfera (KERTON, 2009).

Inversões magnéticas, em escalas de tempo geológico, podem estar associadas às glaciações. Porém, não é sugerido que todas as inversões magnéticas estejam relacionadas a mudanças no clima. Forças astronômicas, como o impacto de asteroides na Terra, podem ser supostamente os precursores das inversões, as quais dependem de um súbito resfriamento no clima causado pelo impacto (WORM, 1997).

Existem hipóteses polêmicas de que o resfriamento global provocaria o aumento do volume do gelo nas calotas polares, que seria responsável pela redução do momento de inércia terrestre e, assim, causaria o aumento da velocidade rotacional, que, por sua vez, induziria ao cisalhamento do núcleo terrestre. Assim, o efeito induzido pela glaciação eventualmente deflagraria o rompimento da geração do campo magnético, todavia, tais mecanismos ainda não estão bem compreendidos e aceitos como hipótese válida (SCHNEIDER; KENT; MELLO, 1992).

### 2.3.5. Superciclos: Tectonismo, Vulcanismo e Raios Cósricos

Na escala temporal na ordem de dezenas a centenas de milhões de anos, existem superciclos de processos tectônicos e vulcânicos – impulsionados por mecanismos internos (processos do manto) ou externos (raios cósricos) – que repercutem de maneira extraordinária no clima terrestre.

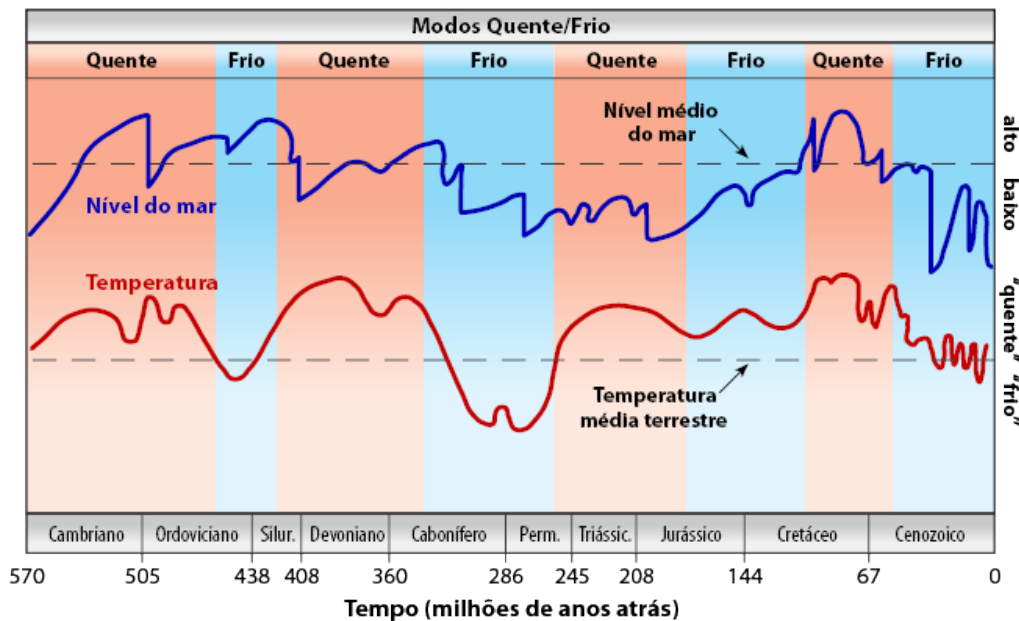
#### 2.3.5.1. Modos Climáticos do Fanerozoico

Longe de ser estático, o clima na Terra, na escala geológica nos últimos 542 milhões de anos (éon Fanerozoico), variou consideravelmente: passou de fases extremamente frias de glaciações a períodos áridos de aquecimento global. Sumarizando tais variações, Frakes, Francis e Syktus (1992) identificaram períodos de tempo com padrões similares nas condições climáticas e propuseram os *Modos Climáticos do Fanerozoico*, dividindo os períodos da história climática entre *Modos Quentes* e *Modos Frios*:

- *Modo Frio*: é atribuído a épocas de resfriamento global em que predominava a ocorrência de grandes extensões de gelo.
- *Modo Quente*: é atribuído a épocas em que o clima se apresentava quente, indicado pela abundância de dados geoquímicos de distribuições de fauna e pela presença de pouco ou nenhum gelo polar.

Informações paleoclimáticas da temperatura média terrestre e do nível médio do mar revelam que, ao longo dos últimos 600 milhões de anos, a história do clima não apresentou uma tendência simples de resfriamento e aquecimento, mas sim foi caracterizada pela alternância de períodos quentes e frios, conforme pode ser constatado na **Figura 35**.

Os Modos Quentes duraram entre 50 a 100 milhões de anos; e os Modos Frios cerca de 40 a 80 milhões de anos. Análises de fatores que afetam o clima sugerem que processos tectônicos, particularmente aqueles relacionados às atividades vulcânicas, governam o início das fases quentes e frias do clima terrestre (FRAKES; FRANCIS; SYKTUS, 1992).



**Figura 35** – Variações estimadas do nível eustático do mar e da temperatura global durante o Fanerozoico, ilustrando os Modos Quentes e Frios. Fonte: modificado de Frakes, Francis e Syktus (1992).

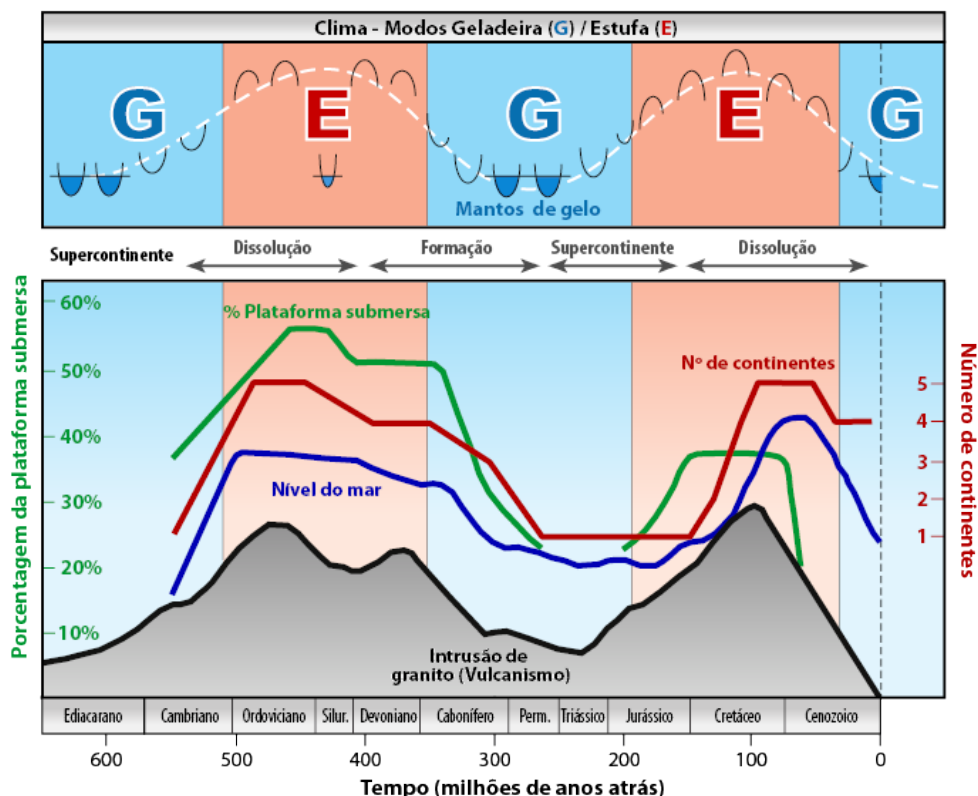
### 2.3.5.1.1 Modos Geladeira-Estufa

Em modelo análogo, Fischer (1981) constatou que, nos últimos 700 milhões de anos, a Terra passou por três grandes episódios de glaciações, fases em que as calotas cobriam, além das regiões polares, regiões subtropicais. O autor definiu esses estados climáticos da Terra como *Modo de Geladeira (Icehouse)* e *Modo de Estufa (Greenhouse)*. Nos períodos de resfriamento global, geleiras avançaram diversas vezes e cobriram extensas áreas continentais, caracterizando fenômenos globais conhecidos como *glaciações*. Como pode ser visto na **Figura 35**, há relação direta entre as condições climáticas globais (em termos de temperatura média) e as variações eustáticas do nível dos oceanos. Nos Modos de Geladeira, parte da água disponível na superfície da Terra fica retida nos continentes sob a forma de gelo ou neve, causando queda global do nível do mar. Com a elevação da temperatura no planeta, as geleiras derretem e recuam, ocasionando o aumento no volume de água e a subida do nível dos oceanos (ASSINE; VESELY, 2008). As causas das mudanças no nível do mar e das temperaturas dos oceanos estão possivelmente associadas a fenômenos de movimentos de placas e vulcanismo (**Figura 36**).

Como indicador de atividade vulcânica, a taxa de formação de corpos de granito serve como uma estimativa para o vulcanismo global. O comportamento do vulcanismo é mostrado na parte inferior da **Figura 36**, juntamente com curvas eustáticas de Vail, Mitchum e Thompson (1977) que mostram as flutuações do nível do mar em relação aos continentes. Nos dois ciclos de aproximadamente 300 milhões de anos cada, as três grandes glaciações (indicadas como “mantos



de gelo”) ocorreram dentro de três fases de vales das curvas (Modos de Geladeira), enquanto os períodos sem glaciações correspondem às fases de crista (Modos de Estufa).

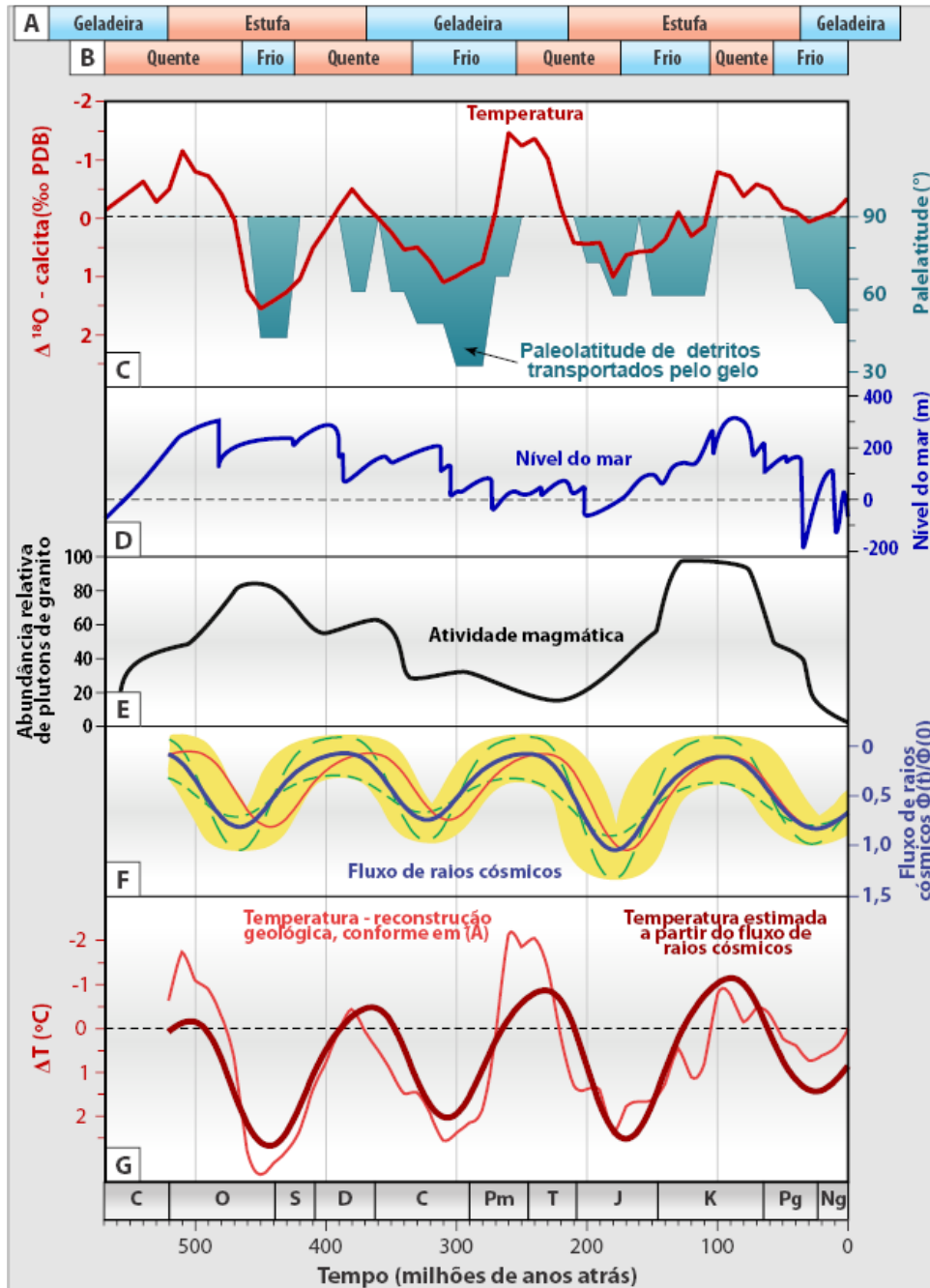


**Figura 36** – Alternância entre Modos de Geladeira (G) e Modos de Estufa (E) ao longo do Fanerozoico. Curva de variação do nível do mar segundo Vail, Mitchum e Thompson (1977); períodos de estufa/geladeira e porcentagem da plataforma submersa segundo Fischer (1981); intrusão de granitos, segundo Engel e Engel (1964). Fonte: modificado de Nance, Murphy e Santosh (2014).

As razões das aparentes coincidências de diferentes ciclos de 300 milhões de anos não estão firmemente estabelecidas. Embora haja muita incerteza a respeito da maneira pela qual as placas litosféricas são conduzidas, a convecção térmica do manto é geralmente considerada como a principal causa. Pela hipótese baseada nesse mecanismo interno, o tectonismo associado ao vulcanismo supostamente conduz o nível dos oceanos, a concentração de dióxido de carbono e finalmente o clima, por meio de mecanismos internos de retroalimentação. Em outra vertente formula-se a hipótese da influência externa de ciclos relacionados à rotação do Sistema Solar ao redor da Galáxia (FISCHER, 1982). Ambos os modelos concorrentes, que invocam alternadamente fatores endógenos e celestes, são revisados por Schlager (2005).

O ciclo de geladeira/estufa deixa dados importantes inexplicáveis. Existem oscilações com períodos de 130 a 150 milhões que podem estar relacionadas ao fluxo de raios cósmicos, os quais modulam o clima via cobertura de nuvens. Price et al. (2013) relatam que diversos estudos colocam em dúvida a ligação entre o dióxido de carbono e o clima, sugerindo que o fluxo de raios

cósmicos galácticos seja a principal causa das mudanças climáticas durante o Fanerozoico. Com base em Schlager (2005), a **Figura 37** sintetiza os modelos propostos.



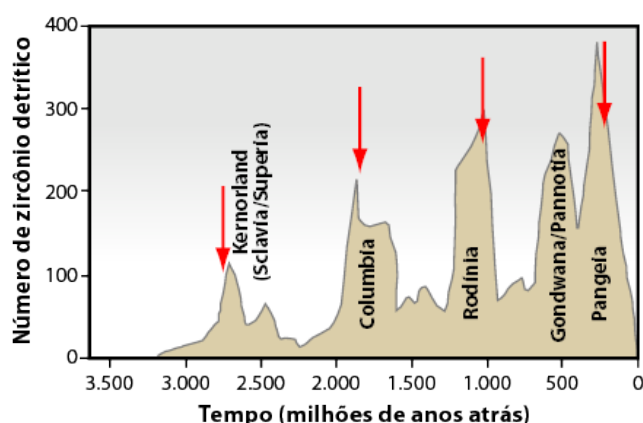
**Figura 37** – Oscilações durante o Fanerozoico. **(A)** Modos geladeira/estufa de Fischer (1981); **(B)** Modos quente/frio de Frakes, Francis e Syktus (1992); **(C)** Temperatura superficial do mar em baixa latitudes e registros de paleolatitudes de detritos transportados pelo gelo, segundo Veizer, Godderis e Francois (2000); **(D)** Nível do mar segundo Vail, Mitchum e Thompson (1977); **(E)** Atividade magmática (vulcanismo) segundo Engel e Engel (1964); **(F)** Fluxo de raios cósmicos, segundo Shaviv e Veizer (2003); **(G)** Variação geológica da temperatura reconstruída e estimada, segundo Shaviv e Veizer (2003). Fonte: modificado a partir de Shaviv e Veizer (2003) e Schlager (2005).

### 2.3.5.2. Movimentação Tectônica

Movimentações tectônicas, que ocorrem em escalas de tempo de milhões de anos, podem causar mudanças nos padrões da circulação atmosférica e da circulação oceânica [ver Faustinoni e Carneiro (2015)]. As correntes oceânicas dependem da geometria dos oceanos e este é controlado pela tectônica de placas. Assim, o movimento das placas e continentes tem efeito profundo sobre a distribuição de massas de terra, serras e da conectividade dos oceanos. Como consequência, as placas tectônicas representam uma influência fundamental no clima global.

O movimento das placas tectônicas resulta na formação e separação de continentes e, em escalas geológicas, provoca a formação ocasional de um supercontinente contendo todos ou quase todos os continentes. Tais configurações constituem os *ciclos de supercontinentes* que, para completar um único ciclo, envolvem cerca de 300 a 500 milhões de anos (HASUI, 2012).

No último 1 bilhão de anos, cinco grandes supercontinentes foram formados (**Figura 38**): *Kenorland* (*Superia* e *Sclavia*) [2,6 bilhões de anos atrás (Ga.)], *Columbia* (ou *Nuna* ou *Hudsonland*) [1,8 a 1,6 Ga.], *Rodínia* [1.000 a 750 milhões de anos atrás (Ma.)], *Pannotia* e *Gondwana* (650-550 Ma.) e *Pangeia* (450-250 Ma.) (CONDIE, 1998; NANCE; MURPHY; SANTOSH, 2014). A progressiva separação dos continentes que compunham *Pangeia* e *Gondwana* resultou na configuração atual. Ao longo da história da Terra, o constante movimento dos continentes e da formação episódica de supercontinentes tem influenciado tanto o clima global quanto os climas individuais dos continentes.

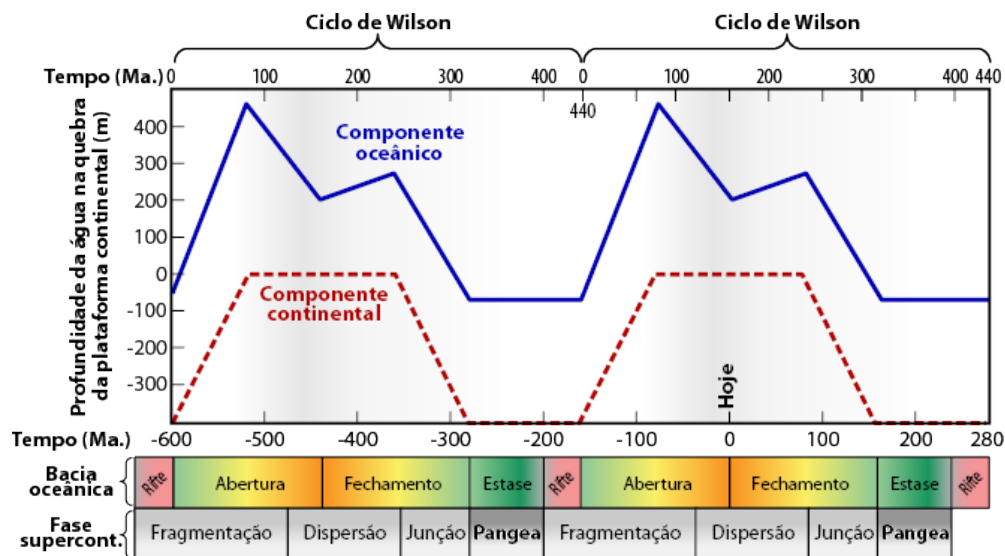


**Figura 38** – Ciclos dos supercontinentes. Os picos orogênicos (setas vermelhas) indicam as épocas de cristalização da crosta, marcando a formação dos supercontinentes. Fonte: modificado de Nance, Murphy e Santosh (2014).

A presença de continentes e suas respectivas topografias afetam os climas de diversas maneiras: as temperaturas nas altitudes elevadas são menores do que nas altitudes baixas; cadeias de montanhas, ao desviar os ventos, forçam o ar a subir em regiões mais frias da atmosfera, provocando chuvas apenas de um lado das montanhas (chuvas orográficas); os centros das grandes

massas continentais geralmente têm elevações relativamente altas e, conseqüentemente, são regiões secas e frescas – condição conhecida como *continentalidade* (ROGERS; SANTOSH, 2004).

A subdivisão dos continentes geralmente induz à formação de novos oceanos ao longo de orogenias (formação de montanhas) mais velhas, levando a um processo cíclico de fechamento e reabertura dos oceanos ao longo de praticamente as mesmas zonas, além de conseqüente formação e dissolução de supercontinentes. A abertura e fechamento de bacias oceânicas (**Figura 39**) constituem os *ciclos de Wilson*<sup>116</sup> (RYAN; DEWEY, 1997; HASUI, 2012).



**Figura 39** – Ciclos de Wilson (bacias oceânicas) e os efeitos das fases dos ciclos dos supercontinentes no nível do mar. Legenda: Ma. = milhões de anos. Fonte: modificado de Miall (2010).

Os supercontinentes são epirogeneticamente elevados e, assim, correspondem a períodos de baixa do nível do mar. Com a fragmentação do supercontinente, os fragmentos continentais resultantes esfriam e desaparecem conforme eles se separam, logo, o nível do mar se eleva. Com a formação de novos oceanos, que não acomodam tanta água do mar quanto os oceanos mais velhos, o nível do mar aumenta. Porém, conforme os oceanos ficam mais velhos e mais frios, eles tornam-se mais profundos, fazendo com que o nível do mar diminua até os oceanos começarem a fechar (NANCE; MURPHY; SANTOSH, 2014).

É geralmente aceito que os ciclos dos supercontinentes estão intimamente ligados a processos do manto, incluindo a convecção do manto, ressurgências do manto (superplumas) e plumas mantélicas. Um mecanismo potencial para a condução do ciclo de supercontinentes são as influências opostas do efeito de isolamento dos supercontinentes no fluxo de calor do manto e o efeito de resfriamento da idade sobre o dinamismo da litosfera oceânica. O primeiro conduz à

<sup>116</sup> John Tuzo Wilson [1908-1993] foi um geofísico e geólogo canadense célebre por suas contribuições pioneiras para a teoria da Tectônica de Placas.

eventual dissolução dos supercontinentes conforme o calor acumula-se abaixo deles, enquanto o segundo resulta na formação dos supercontinentes devido ao fechamento dos oceanos. A formação de um supercontinente cria uma manta térmica convectiva que inibe a liberação de calor interno da Terra. As mudanças na rotação do núcleo da Terra e nos padrões convectivos no manto podem ser tanto a causa quanto a consequência desses acontecimentos de superfície, que também parecem estar ligados a mudanças no campo magnético da Terra. Debaxo de um supercontinente, o desenvolvimento de uma manta térmica leva ao superaquecimento e elevação da crosta em escala continental, podendo ser a causa do eventual rompimento do supercontinente, seguido pelo estabelecimento de um novo padrão de convecção do manto<sup>117</sup> (MIALL, 2010; CONDIE, 2011; NANCE; MURPHY, 2013).

### 2.3.5.3. Raios Cósmicos

A influência de raios cósmicos<sup>118</sup> no clima terrestre tem sido verificada por vertente de estudos que relacionam a Climatologia com a Astronomia. A *Cosmoclimatologia*, termo cunhado por Svensmark (2007), sugere que a intensidade incidente de raios cósmicos na atmosfera terrestre correlaciona-se estreitamente com variações de cobertura global de nuvens. As nuvens refletem/absorvem a entrada e a saída de radiação e, portanto, desempenham um papel importante no balanço de radiação da Terra. Em escalas longas do tempo, esses megaciclos cósmicos apresentam uma correlação entre as variações na fonte de raios cósmicos causadas pela passagem do Sistema Solar através dos braços espirais da Via Láctea<sup>119</sup>, e as variações no clima da Terra no último 1 bilhão de anos. Durante algumas

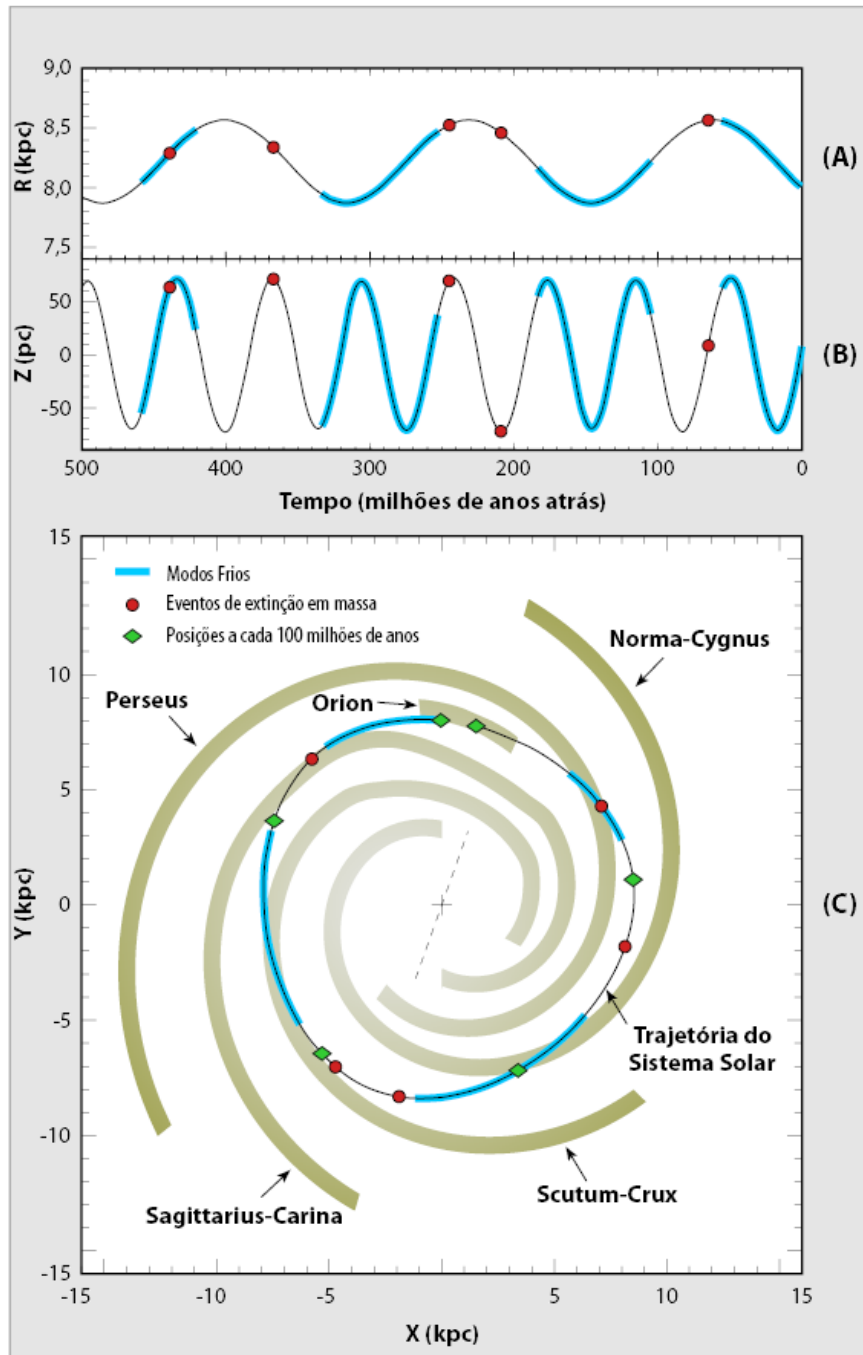
---

<sup>117</sup> Embora a convecção térmica no manto da Terra tenha se tornado um mecanismo popular, como outra provável explicação para os ciclos dos supercontinentes, cabe resgatar os resultados do importante trabalho de Steiner (1967), que comparou qualitativamente a gravidade variável na Terra com diversos fenômenos geológicos, incluindo dados de orogênese, paleoclimáticos, biológicos, entre outros. Machado (1967) propõe que, conforme o Sistema Solar realiza sua órbita ao redor do centro da Via Láctea, a “constante” gravitacional na verdade sofre alterações, provocando a contração e expansão da Terra e do Sol. No caso do Sol, a mudança em seu raio resulta em variações da radiação emitida. No caso da Terra, a expansão/contração pode produzir a regressão dos oceanos e a fratura da crosta (com aparente migração dos continentes). Desse modo, o modelo galáctico proposto por Steiner (1967) oferece uma solução promissora para o problema da energia envolvida na geotectônica de placas ao apresentar uma visão que reconcilia hipóteses geotectônicas aparentemente contraditórias e, além disso, provavelmente fornece a chave para as evidências sobre os ciclos dos supercontinentes.

<sup>118</sup> Constatados em 1912 pelo físico austríaco-norte-americano Victor Francis Hess [1883-1964] – ganhador do Prêmio Nobel de Física em 1936 pela descoberta –, os *raios cósmicos* são partículas carregadas com alta energia originárias do espaço, que viajam quase à velocidade de luz e atingem a Terra a partir de todas as direções. A maioria dos raios cósmicos são núcleos de átomos, mas também incluem elétrons de alta energia, pósitrons e outras partículas subatômicas. O termo “raios cósmicos” geralmente se refere a raios cósmicos galácticos, que se originam em fontes fora do Sistema Solar distribuídas por toda a Via Láctea. No entanto, esse termo também inclui núcleos e elétrons acelerados em associação com eventos energéticos no Sol (chamados de partículas energéticas solares). Durante algum tempo, acreditou-se que a radiação era de natureza eletromagnética (motivo do nome de “raios” cósmicos), e alguns livros didáticos ainda incluem incorretamente os raios cósmicos como parte do espectro eletromagnético. Entretanto, durante a década de 1930, verificou-se que os raios cósmicos devem ser eletricamente carregados, pois eles são afetados pelo campo magnético da Terra. A maior parte dos raios cósmicos galácticos é gerada a partir de explosões de supernovas, que ocorrem aproximadamente uma vez a cada 50 anos em nossa galáxia (MEWALDT, 1996).

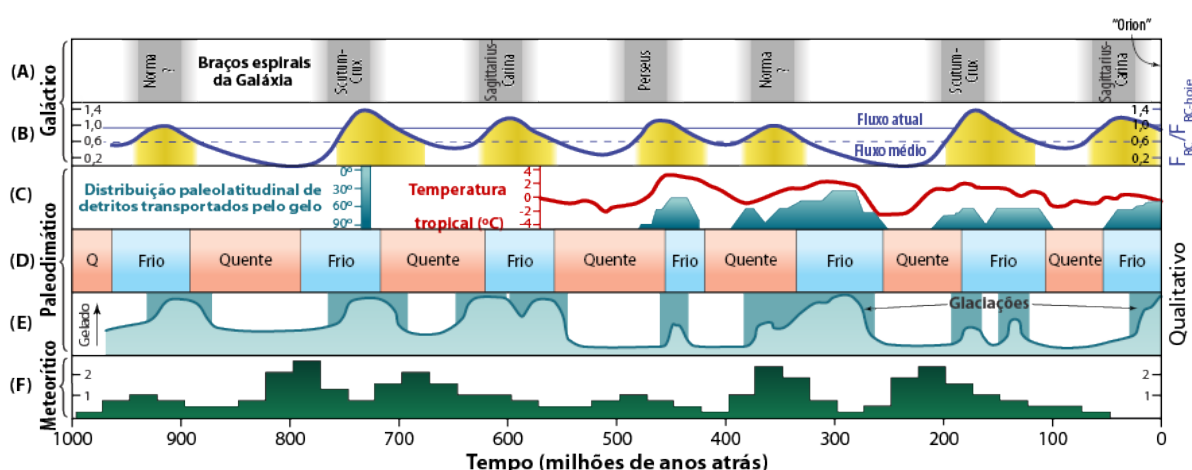
<sup>119</sup> Para completar um ciclo orbital ao redor do centro da Via Láctea, o Sistema Solar gasta cerca de 225 a 250 milhões de anos terrestres, período conhecido como *ano galáctico* ou *ano cósmico*. Durante o movimento de revolução na galáxia, o Sistema Solar também realiza movimentos oscilatórios perpendiculares ao plano equatorial da galáxia. O comprimento desse período é cerca de 64 milhões de anos.

passagens pelos braços espirais (**Figura 40**), a Terra pode ter encontrado nuvens interestelares com densidade suficiente para alterar a química da atmosfera superior e desencadear eras glaciais de durações relativamente longas (GIES; HELSEL, 2005).



**Figura 40** – Posições e oscilações do Sistema Solar na Galáxia, ao longo dos últimos 500 milhões de anos. **(A)** Oscilação radial, sendo  $R$  a distância entre o Sol e o centro da Galáxia; **(B)** Oscilação vertical, sendo  $Z$  a distância do Sol até o plano galáctico; **(C)** Representação esquemática da estrutura espiral da Via Láctea (vista por cima do plano) e da trajetória do Sistema Solar. Linhas grossas azuis: modos frios de Frakes, Francis e Syktus (1992); Círculos vermelhos: eventos de extinções em massa; Losangos verdes: posições a cada 100 milhões de anos. Legenda: pc = parsec (unidade de distância usada na astronomia para representar distâncias estelares). Fonte: modificado de Gies e Helsel (2005).

A **Figura 41** ilustra uma possível correlação que permite inferir que os Modos Quente/Frio (ou Geladeira/Estufa) durante o Fanerozoico podem estar associados à influência dos raios cósmicos. Scafetta (2010) assinala que as oscilações do campo magnético do Sistema Solar induzido pelo movimento dos planetas (em especial de Júpiter e Saturno) podem influenciar o plasma solar e o vento solar. O vento solar modula a ionosfera terrestre, que influencia o circuito elétrico atmosférico global. O último afeta a formação de nuvens e, portanto, o clima global. Os efeitos observados em diferentes escalas e os mecanismos físico-químicos envolvidos na relação da formação de nuvens com os raios cósmicos podem ser consultados na revisão detalhada realizada por Kirkby (2007).



**Figura 41** – Raios cósmicos e Eras glaciais na Terra. **(A)** descreve as passagens pelos braços espirais da Galáxia; **(B)** representa o Fluxo de Raios Cósmicos ( $F_{RC}$ ) atingindo o Sistema Solar; Em **(C)**, a curva denota a temperatura na superfície oceânica tropical relativamente aos dias atuais, e as áreas preenchidas expressam a distribuição paleolatitudinal de detritos transportados pelo gelo; **(D)** e **(E)** descrevem qualitativamente as épocas pelas quais a Terra experienciou Eras do Gelo; **(F)** Histograma de épocas de exposição a meteoros de Fe/Ni – as épocas de maior exposição a meteoros se agrupam em torno de períodos com um fluxo menor de raios cósmicos. Fonte: modificado de Shaviv e Veizer (2003).

Shaviv, Prokoph e Veizer (2014) indicam que o movimento galáctico deixou marcas nos registros do clima terrestre nos últimos 488 milhões de anos atrás. Eles sugerem como possibilidades de explicação: a posição do sistema solar poderia influenciar a frequência de impactos de grandes corpos na Terra; a colisão com nuvens de poeira interestelar; a radiação recebida de raios cósmicos; a presença de um disco galáctico denso poderia conter um componente de matéria escura; assim como processos terrestres, tais como a convecção do manto, que poderiam produzir periodicamente plumas das quais resultam em grandes erupções vulcânicas e províncias ígneas.

Segundo a extensa e detalhada obra de Benkő (1985), os fenômenos terrestres de longo período podem, cada vez mais frequentemente, ser atribuídos a fenômenos cósmicos periódicos.

Em adição às considerações teóricas, a crescente quantidade de evidências tem tornado bastante plausíveis as surpreendentes coincidências ou expressivas similaridades de períodos existentes entre as diferentes ordens de ciclos. Segundo essa linha, a ciclicidade dos processos tectônicos pode ser remontada a processos cósmicos, levando em consideração que estes efeitos são “filtrados” pelo Sistema Solar ou pelo Sol. Essa é uma teoria de ressonância astronômica que cada vez mais cientistas estão focando para o aperfeiçoamento e estabelecimento de possíveis relações entre ciclos cósmicos e geológicos que, por fim, repercutem, determinam e modificam o clima na Terra. Assim, diversas mudanças físicas significativas podem ser atribuídas principalmente às mudanças do campo gravitacional galáctico, explicando a ciclicidade existente nos fenômenos geológico-tectônico-climáticos de longo período.

#### 2.4. SÍNTESE MULTITEMPORAL DOS CICLOS CLIMÁTICOS

Sob uma perspectiva geral, duas questões fundamentais sobre mudanças climáticas dizem respeito a (1) como forças astronômicas forçam as alterações do clima na Terra, e (2) como podem ser explicadas as evidências de variações cíclicas no clima. O controle astronômico<sup>120</sup> das flutuações evidencia-se pela manifestação, ao longo do Fanerozoico, nos ambientes climáticos, tectônicos, paleogeográficos e bióticos da Terra.

As variações climáticas percebidas nas escalas multi-temporais, de horas a bilhões de anos<sup>121</sup>, confirmam os elementos para uma nova abordagem. Integradas, as forças astronômicas galácticas, solares, planetárias, orbitais e lunares determinam, definitivamente, o caráter periódico do clima na Terra.

A **Tabela 4** resume todos os ciclos, seus períodos e mecanismos relacionados, que foram explicados ao longo deste capítulo. A ênfase principal dada aos diversos ciclos climáticos naturais permite entender que os mecanismos causais das mudanças climáticas na Terra envolvem, além de fatores puramente terrestres, fatores envolvendo o Sol, a Lua, a dinâmica dos planetas do Sistema Solar e até mesmo os ritmos da Galáxia. A Terra, a Lua, o Sol e os planetas

---

<sup>120</sup> As influências extraterrestres que forçam o clima da Terra são sustentadas por diversas evidências empíricas, destacando-se: o papel do Sol na regulação da dinâmica climática na Terra (VERSTEEGH, 2005; MACKEY, 2009; ZUFFO 2015); a complexa interação Terra-Sol-Lua (BERGER; PÄTZOLD; WEFER, 2002; TRELOAR, 2002; DAVIS; BREWER, 2011; SCAFETTA, 2014); as origens astronômicas das oscilações oceânicas (MAZZARELLA; SCAFETTA, 2011); e os superciclos bio-geo-oceânico-atmosféricos relacionados ao movimentos do Sistema Solar na Via Láctea (TIWARI; RAO, 2003; STEINER 1967).

<sup>121</sup> Conforme descrito por Benkő (1985), Chumakov (2002, 2005), Bartlein (2007) e Rodríguez-Tovar (2014).



estão girando e pulsando; suas influências sobre o clima na Terra agem ciclicamente, de acordo com intervalos definidos pela mecânica celeste.

<b>Tabela 4 – Síntese dos ciclos do clima e relacionados, seus períodos, mecanismos e causas</b>					
<b>Ciclo</b>		<b>Período</b>		<b>Mecanismo/causa</b>	
		<b>Tempo</b>	<b>(anos)</b>		
<b>C. curtos</b>	C. diário	1 d.	$2,7 \cdot 10^3$	Movimento de rotação terrestre	
	C. sinóptico	3 a 7 d.	$1,4 \cdot 10^2$	Movimentação de massas de ar	
	Oscil. Madden-Julian (OMJ)	30 a 60 d.	$1,2 \cdot 10^1$	Onda atmosférica	
	C. intra-estações	180 d.	$1,6 \cdot 10^1$	Inclinação do eixo terrestre	
	C. anual	365 d.	$1,0 \cdot 10^0$	Movimento de translação terrestre	
<b>Ciclos médios</b>	Oscil. Quase-Bienal (OQB)	2 a 2,5 a.	$2,3 \cdot 10^0$	Oscilação atmosférica	
	Oscil. El Niño – Oscil. Sul (ENOS)	2 a 7 a.	$5,0 \cdot 10^0$	Influência lunar/planetária	
	C. de Schwabe	11 a.	$1,1 \cdot 10^1$	Influência planetas (Júpiter e Saturno)	
	C. de Saros	18,1 a.	$1,8 \cdot 10^1$	Parâmetro orbital lunar	
	C. nodal lunar (C. Draconiano)	18,6 a.	$1,9 \cdot 10^1$	Parâmetro orbital lunar	
	C. de Hale	22 a.	$2,2 \cdot 10^1$	Influência planetas (Júpiter e Saturno)	
	C. de Brückner	35 a.	$3,5 \cdot 10^1$	Influência lunar/planetária	
	Oscil. Interdecadal do Pacífico (OIP)	15 a 30 a.	$2,3 \cdot 10^1$	Influência lunar/planetária	
	Oscil. do Atlântico Norte (OAN)	25 a 35 a.	$3,0 \cdot 10^1$	Influência lunar/planetária	
	Oscil. Decadal do Pacífico (ODP)	50 a 70 a.	$7,0 \cdot 10^1$	Influência lunar/planetária	
	Oscil. Multidecadal do Atlântico (OMA)	50 a 90 a.	$7,0 \cdot 10^1$	Influência lunar/planetária	
	C. inferior de Gleissberg	88 a.	$8,8 \cdot 10^1$	Influência planetas (Júpiter e Saturno)	
	C. superior de Gleissberg	120 a.	$1,2 \cdot 10^2$	Influência planetas (Júpiter e Saturno)	
	C. de Jose	179 a.	$1,8 \cdot 10^2$	Influência planetas (Júpiter e Saturno)	
	C. de Suess (ou C. de De Vries)	208 a.	$2,1 \cdot 10^2$	Influência planetas (Júpiter e Saturno)	
	C. de 500 anos	500 a.	$5,0 \cdot 10^2$	Influência planetas (Júpiter e Saturno)	
	C. de Eddy	1.000 a.	$1,0 \cdot 10^3$	Influência planetas (Júpiter e Saturno)	
	Eventos de Dansgaard-Oeschger	1.500 a.	$1,5 \cdot 10^3$	Influência solar, proc. atmosf./oceanos	
	Eventos de Bond	1.500 a.	$1,5 \cdot 10^3$	Influência solar, proc. atmosf./oceanos	
	C. de Hallstatt	2.300 a.	$2,3 \cdot 10^3$	Influência planetas (Júpiter e Saturno)	
Eventos de Heinrich	10 ma.	$1,0 \cdot 10^4$	Influência solar, proc. atmosf./oceanos		
<b>Ciclos longos</b>	C. de Milankovitch - Interglacial	10 ma.	$1,0 \cdot 10^4$	Parâmetro orbital terrestre	
	Interglacial/Glacial	Glacial	100 ma.	$1,0 \cdot 10^5$	Parâmetro orbital terrestre
	C. de Milankovitch - Precessão equinócios	20 ma.	$2,0 \cdot 10^4$	Parâmetro orbital terrestre	
	C. de Milankovitch - Inclinação axial	40 ma.	$4,0 \cdot 10^4$	Parâmetro orbital terrestre	
	C. de Milankovitch - Excentricidade orbital	100 ma.	$1,0 \cdot 10^5$	Parâmetro orbital terrestre	
C. de Milankovitch - Excentricidade orbital longa	400 ma.	$4,0 \cdot 10^5$	Parâmetro orbital terrestre		
<b>Superciclos</b>	Impactos de grandes asteroides/meteoritos	30 Ma.	$3,0 \cdot 10^7$	Oscilação vertical do Sistema Solar através do plano galáctico	
	Modo de Estufa/Modo de Geladeira	250 a 500 Ma.	$2,5 \cdot 10^8$	Movimento de translação do Sistema Solar em torno do centro da Galáxia	
	Modo Quente/Modo Frio				
	C. tectonismo/vulcanismo				
	C. de supercontinentes				
C. de Wilson					

Legenda: C. = Ciclo; d. = dia(s); a. = ano(s); ma. = milhares anos; Ma. = milhões de anos.

Fonte: elaboração própria.

Dentro de um enorme intervalo temporal que varia em mais de dez ordens de grandeza, compreendendo desde ciclos diários ( $10^{-3}$  anos) até ciclos tectônicos/galácticos ( $10^8$  anos), as variações cíclicas do clima apresentadas foram consideradas individualmente com o intuito de facilitar a compreensão de cada tipo de ciclo e os fenômenos específicos envolvidos.

Conforme apresentado ao longo deste capítulo, as causas naturais são variadas: causas internas e externas são complexas, interligadas, sujeitas e vários mecanismos de retroalimentação e a eventos aleatórios de grande impacto. Apresentar todos esses fatores interferentes no clima de uma forma conjunta e sintetizada representa um desafio, pois cada um possui influência em escalas de espaciais e temporais distintas. Apesar da dificuldade, tal representação é possível, conforme será mostrado na sequência.

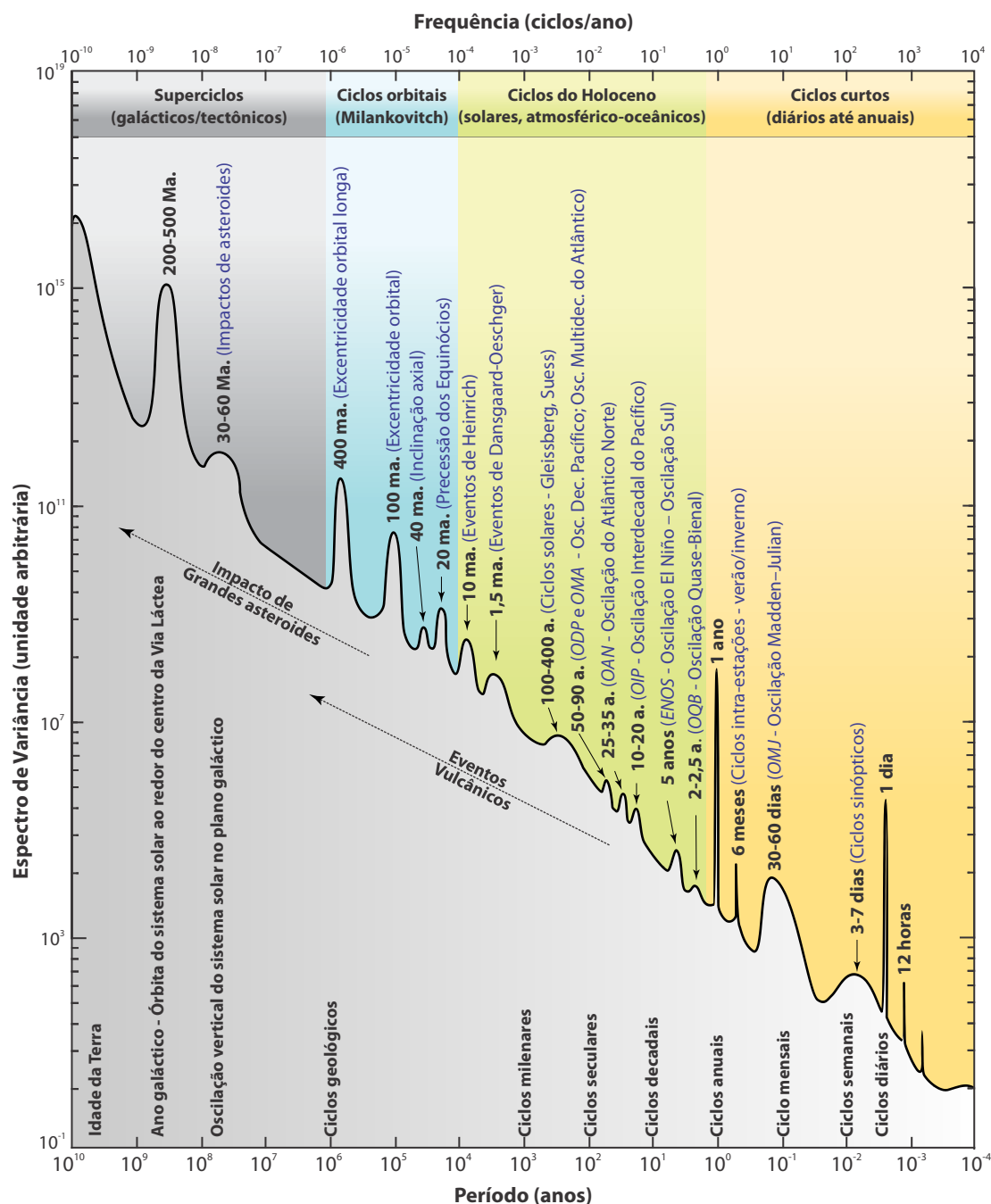
Uma das abordagens da análise de *séries temporais*<sup>122</sup> para caracterizar ou descrever a variabilidade do clima é o *espectro de variância/potência* (*espectrograma* ou *periodograma*<sup>123</sup>), que exibe uma propriedade estatística de variância, em função do período ou a frequência da variação. O espectro de variância tem sido frequentemente utilizado para ilustrar a importância relativa das variações climáticas em escalas diferentes. “Picos” em tal tipo de representação apontam para frequências particulares ou escalas de tempo em que a variabilidade está concentrada. Com base nos principais ciclos identificados na **Tabela 4**, a **Figura 42** ilustra uma versão esquemática de um espectro de variância para o sistema climático, com escalas de tempo variando entre horas e bilhões de anos.

O espectro de variância exibe a magnitude relativa ou absoluta de variância em uma série temporal em um determinado período de tempo ou frequência, em função do período ou frequência, fornecendo um “domínio da frequência” que sintetiza a variabilidade climática. A aplicação deste espectro para ilustrar o calendário da variabilidade climática naturalmente induz à compreensão das características periódicas ou oscilatórias em uma série temporal. Assim, a visualização desses aspectos normalmente evidencia alguns mecanismos cíclicos regulares, sejam eles externos (Sol, Lua, planetas) ou internos (“modos climáticos” oscilatórios) (BARTLEIN, 2006).

---

<sup>122</sup> A ser tratado em detalhes na PARTE II, CAPÍTULO 4 (p. 259) e CAPÍTULO 5 (p. 307).

<sup>123</sup> As bases estatísticas dos espectros de potências estão explicadas no CAPÍTULO 4, item “4.4.2.1.1.4. Espectro de Potência, Espectrograma e Periodograma” (p. 287).



**Figura 42** – Representação esquemática do espectro de variância para o sistema climático, com escalas de tempo variando entre horas e bilhões de anos. Legenda: Ma. = milhões de anos; ma. = milhares de anos; a. = anos. Fonte: elaborado por compilação com base em Mitchell (1976), Ghill (2002) e Bartlein (2007).

Contata-se que os fatores astronômicos permeiam praticamente todas as ordens dos ciclos climáticos, conforme detalhadamente explicado em Oliveira et al. (2014):

- *Primeira ordem*: os *superciclos* com períodos de centenas de milhões de anos estão relacionados com a atividade endógena (vulcanismo, tectonismo) da Terra, induzida pelo movimento do sistema solar ao redor da Via Láctea, que provoca variação na quantidade de raios cósmicos. Ciclos de dezenas de milhões de anos são marcados por eventos de

impacto de grandes corpos no planeta que resultam em eventos de extinções em massa. Esse mecanismo também é motivado por fator astronômico relacionado à oscilação vertical do sistema solar em relação ao plano galáctico.

- *Segunda ordem:* ciclos climáticos com dezenas e centenas de milhares de anos são causados por variações nos parâmetros da órbita da Terra (excentricidade, inclinação axial e precessão dos equinócios), conhecidos como os *ciclos de Milankovitch*, uma ordem de influência astronômica bastante definida.
- *Terceira ordem:* A maioria dos climáticos de períodos mais curtos (*Ciclos do Holoceno*), na ordem de milênios, séculos e décadas, está provavelmente relacionada com mudanças na radiação solar, provocadas pelas influências gravitacionais de grandes planetas do sistema solar. Na ordem de dezenas de anos, os fatores terrestres se manifestam por meio das oscilações oceânicas, possivelmente causadas pelas mesmas influências planetárias. A lua parece influenciar indiretamente o clima ao interferir nas oscilações oceânico-atmosféricas.
- *Quarta ordem:* na escala anual e diária, o clima varia conforme os movimentos astronômicos de translação e rotação terrestre.

Nota-se que os ciclos do clima ocorrem sobre todas as escalas de tempo, apresentando uma variabilidade relativa muito maior com o aumento da escala, porém com concentrações de variância em algumas escalas de preferência. As variações climáticas ocorrem dentro de uma hierarquia de controles e respostas, que começa na ordem mais alta com os controles externos de clima, prossegue ao longo dos níveis em escala global, hemisférico, continental e regional, e termina no nível mais baixo com as alterações das variáveis climáticas individuais em locais específicos. Respostas em qualquer nível da hierarquia terminam por controlar as variações dos componentes em níveis inferiores. Com a exceção do ciclo anual, há uma tendência geral de as variações dos componentes em níveis mais elevados na hierarquia apresentarem maior variabilidade no longo prazo, enquanto os componentes dos níveis inferiores experimentam maior variabilidade de curto prazo (BARTLEIN, 2006).

Mudanças graduais nos controles de grande escala podem, às vezes, produzir mudanças bruscas locais, quando a circulação atmosférica é reorganizada. Por outro lado, mudanças abruptas na circulação de grande escala podem produzir aquecimento em algumas regiões, resfriamento ou nenhuma alteração em outros locais, como pode ser visto nos padrões espaciais de anomalias de variações anuais do clima. Por conseguinte, embora possa ser difícil ou mesmo

impossível atribuir uma variação do clima em um dado local a uma configuração específica de controles de nível superior, as variações de curto prazo em níveis mais baixos são fortemente condicionadas pelo estado particular do sistema nos níveis mais elevados. Portanto, qualquer discussão sobre os prazos de variabilidade climática deve reconhecer as dimensões espaciais e temporais do sistema que está sendo discutido (BARTLEIN, 2006).

#### 2.4.1. Tipos de variações climáticas

Existe um número relativamente reduzido de tipos diferentes de variações climáticas que as séries temporais podem exibir. Diante desses padrões, com base em Bartlein (2006), Oliveira (2010) apresenta<sup>124</sup> definições e exemplos gráficos sobre uma taxonomia de características típicas de séries temporais climáticas, envolvendo padrões como: *tendências*, *passos*, *oscilações*, *flutuações* e *eventos*.

Assim, em um dado momento ou lugar, o clima predominante é o produto da sobreposição de todas essas características à medida que elas ocorrem em todas as distintas escalas de tempo. As condições climáticas dependem: da amplitude da variação climática associada e a sua duração; da quantidade de características sobrepostas; da tendência de uma variação particular ser previsível ou reversível; e também da existência de limites intrínsecos.

#### 2.4.2. Periodicidade e Aleatoriedade

Muitas das características físicas da Terra estão sujeitas a mudanças cíclicas, periodicamente recorrentes. As variações cíclicas de algumas delas não restam dúvidas; se outras ainda podem gerar debates, são necessárias maiores considerações e mais investigações particulares. É evidente que os ciclos de menor período e recentemente medidos podem ser provados direta e facilmente, enquanto que os ciclos de maior período podem ser identificados com maior grau de equívoco.

Apesar da constatação de diversos ciclos climáticos, nem todas as mudanças no clima são *periódicas*, podendo ser *quasi-periódicas* e *estocásticas* (*aleatórias*)<sup>125</sup>. Existem, portanto,

---

<sup>124</sup> No item “4.4.1.1. Escala de abordagem temporal” (p. 89).

<sup>125</sup> Algumas séries temporais podem ser representadas como a combinação de três componentes: *tendência*, *cíclica* (ou *sazonal*) e *residual*. As componentes de tendência são mudanças graduais no longo prazo e, normalmente, são provocadas por fatores que produzem variações graduais e regulares ao longo do tempo, mas não provocam mudanças repentinas. A componente cíclica (ou sazonal) são oscilações determinísticas resultantes de eventos *periódicos* ou *quasi-periódicos*. O comportamento quasi-periódico está relacionado a padrões que, apesar de parecidos, não se reproduzem exatamente em intervalos constantes de tempo. As componentes residuais podem ser interpretadas como o restante da série, ou seja, aquilo que não pode ser explicado pelas componentes cíclicas ou de tendência. A série residual pode ser ou não aleatória. Caso seja aleatória, são componentes não determinísticas denominadas como *estocásticas*.

efeitos potencialmente caóticos do comportamento não linear no clima. A combinação das componentes periódicas, quasi-periódicas e estocásticas no sistema climático podem produzir uma variedade de respostas bastante complexas.

Para alguns ciclos do clima, existem aqueles que são naturalmente óbvios e estritamente periódicos para a escala humana, como os ciclos diários e anuais; existem outros ciclos de maior período relativamente regulares, como os ciclos de Milankovitch, hoje amplamente aceitos; existem outros eventos quasi-periódicos, como as oscilações atmosfera-oceano; e existem outros diversos fenômenos estocásticos que, mesmo possuindo componentes aleatórias, apresentam componentes periódicas de maior ou menor significância.

Além do termo *periódico* reservado para eventos que se repetem em intervalos fixos, existem ciclos que se repetem de forma irregular, denominados como *episódicos*. Por exemplo, erupções vulcânicas sempre ocorreram no passado e continuarão ocorrendo no futuro, mas, como o período de dormência dos vulcões é variável, logo, as erupções são episódicas. O reconhecimento de ciclos geralmente não é difícil, mas decidir se um fenômeno recorrente é periódico, quasi-periódico, episódico ou estocástico é facilitado por técnicas e análises de séries temporais.

Assim, há muitas possibilidades a serem consideradas sobre a periodicidade climática quanto à chance de o clima recente de curto prazo da Terra ser influenciado por causas recorrentes, especialmente por forças periódicas externas. Boa parte da incerteza associada a essa discussão parece estar enraizada na falta de mecanismos físicos aceitáveis que forneçam um embasamento sólido sobre as relações entre os vários fatores que podem estar envolvidos. Considerados isoladamente, alguns ciclos são facilmente percebidos. Porém, deve-se atentar para o fato de que o clima é uma soma de diversos fatores que, combinados, resultam na variabilidade, diversidade e complexidade climática.

## **2.5. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O clima não é constante nem permanente, pelo contrário, possui alta variabilidade. Existem períodos de aquecimento, de resfriamento, alguns seguindo padrões ou ciclos, outros apresentando um comportamento mais complexo e irregular. Algumas dessas escalas de variabilidade temporal refletem a natureza dos fatores externos do sistema climático ou os fatores internos dos componentes do próprio sistema climático.

Constata-se que, oscilando naturalmente ao longo do tempo, o clima é marcado pela regularidade e inevitabilidade da mudança. *Variação* é uma propriedade fundamental do sistema climático terrestre e, com base no conhecimento da paleociência, fica claro que as mudanças continuarão ocorrendo no futuro, de forma cíclica e intrinsecamente conectada a fatores astronômicos.

Segundo Scafetta (2014), Pitágoras [570-495 a.C.] propôs que o Sol, a Lua e os planetas emitem seus próprios “sussurros” (ressonâncias orbitais) com base em suas revoluções orbitais, e que a vida na Terra reflete de alguma forma o teor dos “sons celestiais”. Esse conceito filosófico antigo é conhecido como *musica universalis*<sup>126</sup> (música universal ou “música das esferas”). Agindo em escalas de tempo diversificadas, os ciclos climáticos podem ser poética e analogamente interpretados como notas em uma música: orquestrada por ritmos astronômicos externos e compassos terrestres internos, a combinação se harmoniza e resulta na sinfonia que é o nosso clima na Terra.

As variações cíclicas do clima terrestre abrem uma nova perspectiva sobre a recente mudança climática: é possível uma interpretação alternativa baseada nas evidências de que uma parte significativa dela é devida a oscilações naturais específicas, motivo pelo qual o aquecimento global antropogênico pode ser questionado. Nesse sentido, Scafetta (2016) aponta que os modelos climáticos convencionais não conseguem reconstruir adequadamente a variabilidade natural do clima. De fato, técnicas de análise avançadas revelam que a variabilidade natural do clima recente consiste na sobreposição de várias oscilações, muitas de origem astronômica, que vão desde a escala decenal até a escala milenar. Segundo o autor, as mesmas considerações levam à conclusão de que os modelos climáticos convencionais superestimam gravemente, em cerca de duas vezes, o aquecimento climático antropogênico.

---

<sup>126</sup> Ver mais na nota de rodapé n. 274.





VOLUME 1 – PARTE I

## CAPÍTULO 3

### CICLOS CLIMÁTICOS:

#### **Retrospectiva Histórica, Conjuntura Atual e Nova Perspectiva ao Recente Aquecimento Global**

##### **3.1. RETROSPECTIVA HISTÓRICA, CONJUNTURA ATUAL: TEMPERATURA DO AR NO BRASIL**

Antes de projetar temperaturas futuras, é imprescindível conhecer as variações ocorridas no passado para estabelecê-las como referencial de comparação. Por meio da compreensão dos climas antigos que é possível visualizar que os climas podem mudar, colocando os tipos de mudanças atuais em uma perspectiva histórica. A ideia de que o clima da Terra pode sofrer mudanças é um conceito abstrato que está fora do alcance das experiências humanas cotidianas: as pessoas percebem bem somente as variações diárias e das estações ao longo do ano. Até o séc. 19, a ideia de que a Terra podia sofrer mudanças climáticas variadas era cientificamente radical<sup>127</sup>, e aceitação disso tem profundas implicações em como se observa a Terra e seu futuro. Analisando evidências diretas da mudança na Terra em sua próprio interior – como através de rochas ou fósseis normalmente associados a ambientes muito mais frios ou mais quentes, ou mais secos ou úmidos do que ocorrem agora – comunica-se a ideia de que a Terra muda. Também conecta-se o clima a aspectos dos sistemas terrestres, como o registro de rochas e fósseis. Assim, entendendo como a Terra mudou, os climas anteriores ajudam a entender como a Terra pode mudar no futuro.

Atualmente, por conta das possíveis influências no clima causadas pelas emissões antropogênicas de gases de efeito estufa, estudar o clima tornou-se um dos grandes assuntos discutidos na comunidade científica, bem como na sociedade como um todo. Logo, a determinação da magnitude das variações climáticas significativas é necessária para distinguir os

---

<sup>127</sup> Conforme tratado nos itens “1.6.3. Ciclos Climáticos”(p. 100) e “1.6.4. Estudos Paleoclimáticos” (p. 103), há pouco mais de 180 anos atrás que foi enunciada, pelo geólogo Louis Agassiz [1807-1873] a “ousada” ideia de uma *Grande Era Glacial*, concepção que serviu de fundamentação para os geólogos Eduard Brückner [1862–1927] e Albrecht Penck [1858–1945] elaborarem, há cerca de 110 anos atrás, seu modelo altamente influente a respeito dos *ciclos glaciais-interglaciais*.

impactos antropogênicos da faixa de fundo da variabilidade natural. A reconstrução de padrões espaço-temporais de variabilidade climática passada ajuda a compreender e quantificar a influência da dinâmica de forçamentos externos (antrópicos) e de forçamentos intrínsecos (naturais) do sistema climático global. Nesse sentido, a mais completa compreensão da variabilidade climática natural precisa ser considerada em cenários climáticos futuros (PAGES 2K CONSORTIUM et al., 2013).

Nesta seção são apresentados diversos gráficos e figuras com o intuito ilustrativo e exemplificativo. Logo, pode não haver tanto detalhamento nas explicações sobre as figuras, pois a intenção de apresentá-las aqui é para fins de posterior consideração e comparação. De qualquer forma, no caso de eventual necessidade de aprofundamento e melhor entendimento de detalhes das figuras, sugere-se consultar as respectivas referências contendo as figuras originais e explicações adicionais.

### **3.1.1. Passado**

Os dados do paleoclima dos últimos dois milênios – um período no qual as forças climáticas naturais e antropogênicas são razoavelmente bem restritas – fornecem perspectivas sobre as mudanças de temperatura global durante o séc. 20. O conhecimento do clima durante os séculos passados pode melhorar a compreensão da variabilidade natural do clima e ajudar a resolver a questão de saber se a mudança climática moderna não tem precedentes em um contexto de longo prazo. A falta de registros climáticos instrumentais generalizados antes de meados do séc. 19, no entanto, exige o uso de arquivos climáticos naturais, ou dados de *testemunhos*, como anéis de árvores, corais e núcleos de gelo e registros documentais históricos para reconstruir o clima nos séculos anteriores.

As reconstruções climáticas dos últimos 2.000 anos têm se concentrado no hemisfério norte, usando registros derivados principalmente de ambientes terrestres. Tais reconstruções limitam as avaliações empíricas da variabilidade inter-hemisférica em escalas de tempo multidecadais a centenárias. A atribuição de mudanças de temperatura a forçamentos externos e as investigações do acoplamento entre a temperatura e as concentrações de gases de efeito estufa têm se concentrado em dados preponderantemente do Hemisfério Norte. Consequentemente, esforços de reconstrução global ressaltam que “declarações mais confiáveis sobre variações de temperatura de longo prazo no hemisfério sul e o globo em geral deve aguardar a coleta adicional de dados de testemunhos” (NEUKOM et al., 2014).

Os primeiros estudos climáticos envolvendo a região da América do Sul foram recentemente publicados nos últimos 10 anos. Para todo o Brasil, inexitem séries representativas

de temperatura do ar que sejam de alta resolução e que abranjam a escala de séculos ou até 2.000 anos atrás. Antes de abordar algumas das poucas das séries pontuais e regionais existentes no Brasil, cabe apresentar e partir de uma visão macro (global e hemisférica), direcionando o enfoque para a escala regional (América do Sul e regiões do Brasil). Assim, será mais fácil compreender os limites impostos pela escassez de estudos envolvendo testemunhos climáticos em território brasileiro.

### 3.1.1.1. Reconstruções nos últimos dois milênios

De modo simplificado, o clima da Terra é determinado pela quantidade de radiação que entra e que sai pelo planeta. Mas os detalhes ficam complexos: ciclos de longo prazo na órbita da Terra, flutuações na produção do Sol e mudanças na concentração de gases de efeito estufa e aerossóis influenciam o equilíbrio de energia da Terra globalmente. No entanto, essas mudanças na escala global não se traduzem uniformemente ao redor da Terra; a atmosfera, os oceanos e outros componentes do sistema climático redistribuem a energia de maneiras complexas.

Para entender melhor como as mudanças no balanço global de energia se manifestam nas mudanças climáticas em escalas regionais, é necessário investigar processos que operam por séculos ou mais, reconstruindo a variabilidade climática passada no espaço e no tempo. Sobre as mudanças climáticas recentes, elas têm sido documentadas desde o advento de instrumentos precisos que rastreiam a temperatura e outros elementos do clima. Mas o clima também varia naturalmente em longas escalas de tempo, e voltar um século ou mais no tempo está além dos registros instrumentais. Afortunadamente, arquivos naturais e documentos históricos oferecem evidências indiretas (ou *testemunhos*) da variabilidade climática do passado. Ao estudar e acessar esses registros, então podem ser extraídas informações sobre as mudanças climáticas no passado.

Nesse contexto, em 2006, o projeto de Mudanças Globais Passadas (PAGES<sup>128</sup>, sigla do Inglês) começou a estabelecer a *Rede 2k*<sup>129</sup>, com o objetivo de compilar e analisar uma gama global de reconstruções climáticas regionais nos últimos 2.000 anos. A rede se concentrou nos últimos dois milênios porque um número suficiente de registros de dados de testemunhos cobre esse período em muitas regiões; além disso, as características fundamentais do sistema climático, como a quantidade de gelo glacial na Terra e os níveis do mar, eram semelhantes às das condições recentes, simplificando a interpretação das

---

<sup>128</sup> <http://pastglobalchanges.org/>

<sup>129</sup> <http://pastglobalchanges.org/science/wg2k-network/intro>

mudanças climáticas de longo prazo. O Consórcio PAGES 2k tem hoje a participação de mais de 5.000 especialistas de 125 países de todas as regiões continentais. O conjunto de dados da PAGES 2k inclui centenas de séries temporais individuais de vários arquivos (testemunhos). A maior parte das informações são provenientes de anéis de árvores, núcleos de mantos de gelo e geleiras, espeleotemas, corais, pólen, sedimentos de fundos de lagos e oceanos, bem como de documentos históricos (KAUFMAN et al., 2013).

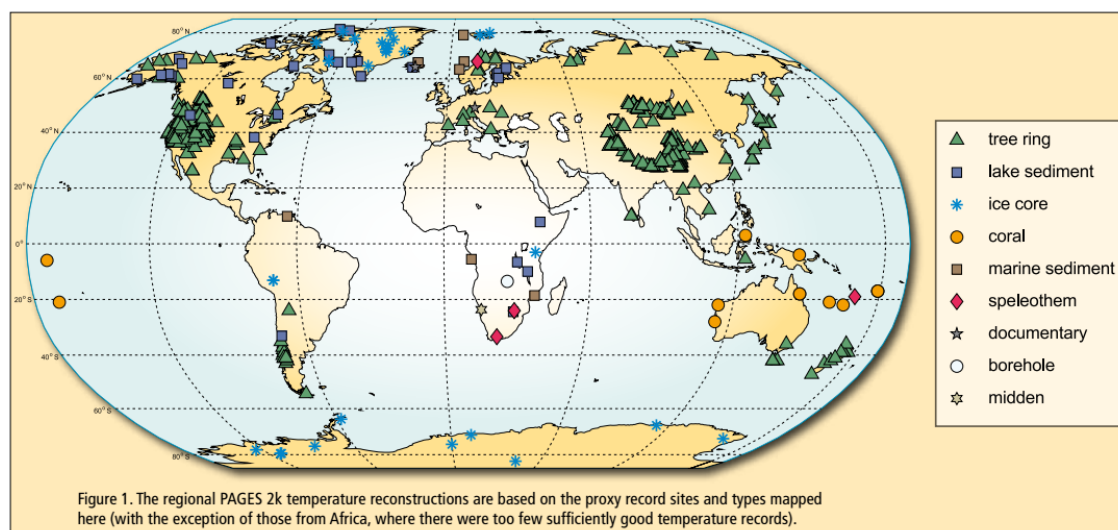
Até antes do PAGES 2k, estudos anteriores se concentraram em reconstruções de temperatura no hemisfério norte, ou consideraram o planeta como um todo. Essas perspectivas são úteis para entender as condições médias gerais, mas não para reconhecer diferenças importantes na escala regional. Por exemplo, *Anomalia Climática Medieval (ACM)*<sup>130</sup>, perturbação climática com um período central de 1000–1200 d.C., é bem conhecida no Hemisfério Norte (HN). Todavia, sua existência no Hemisfério Sul (HS) e o nível de sincronicidade com o HN ainda é motivo de debate. Nesse sentido, a nova síntese do PAGES 2k, em particular, passou a incluir reconstruções de temperatura da Antártica, Australásia e América do Sul, que esclarecem a história de temperatura pouco documentada para os continentes do HS.

Na primeira fase do PAGES 2k (2008-2013), apesar de ter sido contemplado um extenso conjunto envolvendo 551 séries temporais oriundas de testemunhos em todas as regiões do planeta, a distribuição espacial desses testemunhos é bastante desigual, conforme ilustra a **Figura 43**. Na América do Sul, eles estão concentrados na região da cordilheira dos Andes e na Patagônia, região ao sul da América do Sul. Para o Brasil, não constam testemunhos na primeira coletânea do PAGES 2k.

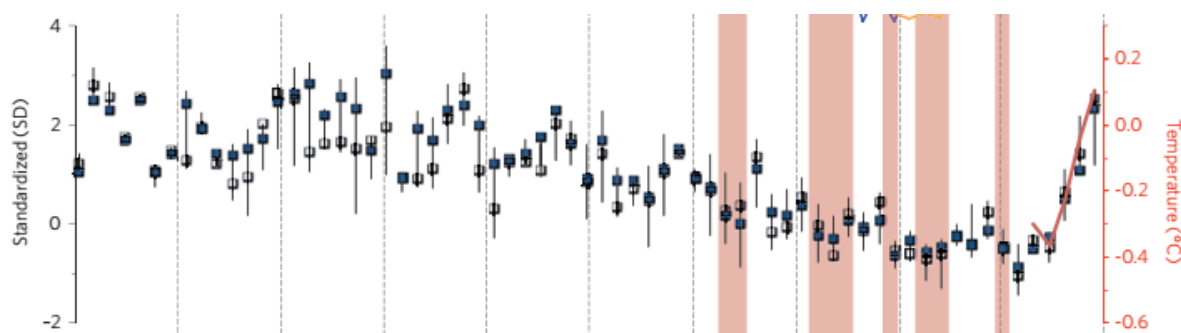
Os resultados da primeira fase do PAGES 2k foram apresentados em PAGES 2k Consortium et al. (2013), no qual identificou-se que a característica mais coerente em quase todas as reconstruções regionais de temperatura é a existência de tendência de resfriamento de longo prazo, que terminou no final do séc. 19 (**Figura 44**). Tal resfriamento foi lento, entre cerca de 0,1 e 0,3 °C ao longo de 1.000 anos. Uma análise preliminar indica que o resfriamento geral foi causado por uma combinação de fatores, incluindo uma diminuição na irradiância solar e um aumento na atividade vulcânica, bem como mudanças na cobertura da terra e mudanças lentas na órbita da Terra (KAUFMAN et al., 2013).

---

<sup>130</sup> A anomalia foi descrita pela primeira vez em 1965 como “Época Quente do Início da Idade Média”, que posteriormente mudou na literatura para “Período Quente Medieval” (PQM). Posteriormente, em 1994, foi criado o termo “Anomalia Climática Medieval” (ACM). A adoção do último termo tem sido preferencial desde então, visto que ele reflete a disponibilidade de muito mais informações sobre a temperatura e hidrologia antes inexistentes. A ACM representa uma fase de aquecimento natural mais recente na história milenar, fornecendo informações de contexto cruciais para compreender e contextualizar o Período Quente Atual (PQA) e seu processo de aquecimento (DIAZ et al., 2011; LÜNING et al., 2019).



**Figura 43** – Distribuição geográfica de testemunhos (categorizados e codificados) integrantes do banco de dados da PAGES 2k<sup>131</sup>, versão 1.0, de 2013. As reconstruções regionais de temperatura são baseadas nos locais de registro e tipos de testemunhos mapeados neste mapa (com exceção dos testemunhos da África, onde havia poucos registros de temperatura suficientemente bons). Fonte: Kaufman et al. (2013).

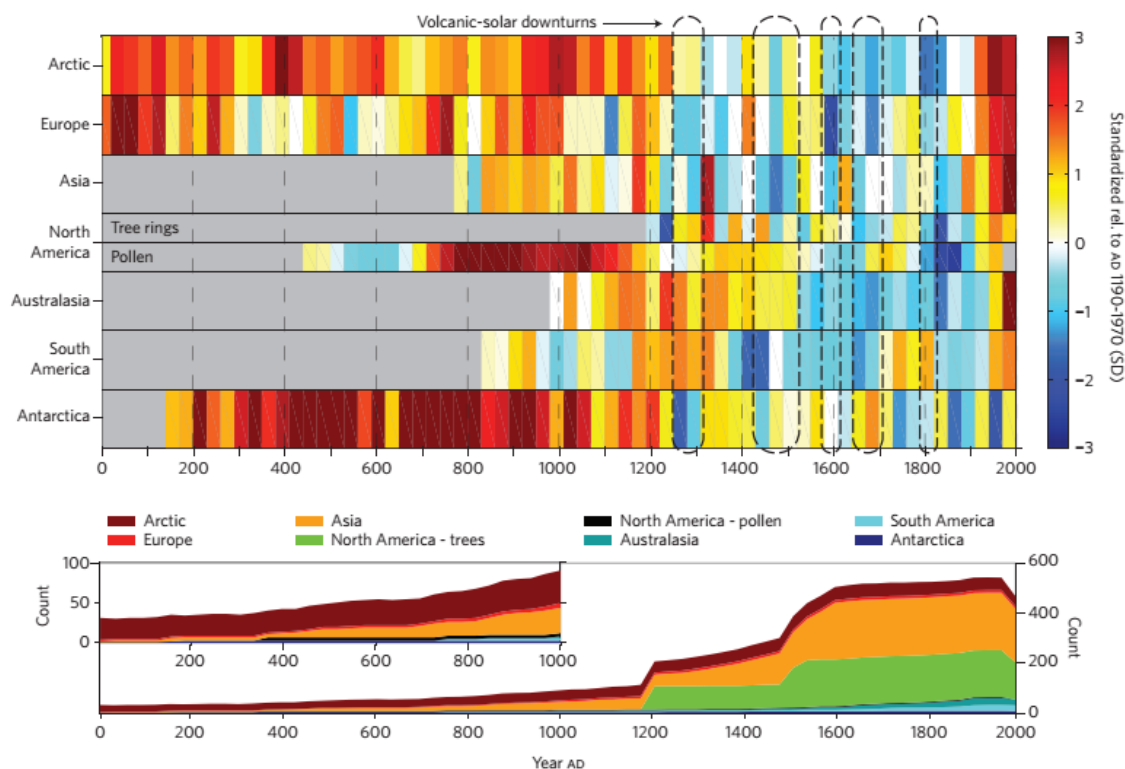


**Figura 44** – Reconstrução da temperatura com forçamentos climáticos. Temperaturas padronizadas médias de 30 anos, com base em todas as sete regiões de escala continental. Os símbolos azuis são médias ponderadas por área, caixas pretas abertas são medianas não ponderadas, e as barras mostram o 25º e o 75º percentis não ponderados para ilustrar a variabilidade entre as regiões. A linha vermelha é a temperatura global anual média de 30 anos da série temporal instrumental HadCRUT4, relativa ao período de 1961–1990. Faixas vermelhas verticais indicam desacelerações vulcânicas-solares. Fonte: PAGES 2k Consortium et al. (2013).

A tendência de resfriamento de longo prazo lança uma nova luz sobre a visão clássica de um Período Medieval Quente seguido por uma Pequena Idade do Gelo mais fria. Os cientistas tiveram dificuldade em determinar o início e o fim desses dois intervalos com alguma consistência: eles pareciam ter ocorrido em momentos diferentes em lugares diferentes. O mapeamento do PAGES 2k (PAGES 2K CONSORTIUM et al., 2013) das mudanças de temperatura em todo o mundo comprovou que as temperaturas não flutuavam uniformemente entre todas as regiões

<sup>131</sup> Além do banco de dados do PAGES 2k, convém mencionar a existência de um projeto no *Researchgate* também voltado ao estudo da ACM: <https://www.researchgate.net/project/Mapping-the-Medieval-Climate-Anomaly> - Na descrição desse projeto, consta o *link* para um mapa global que agrega centenas de diferentes referências e localizações dos respectivos testemunhos: <http://t1p.de/mwp>

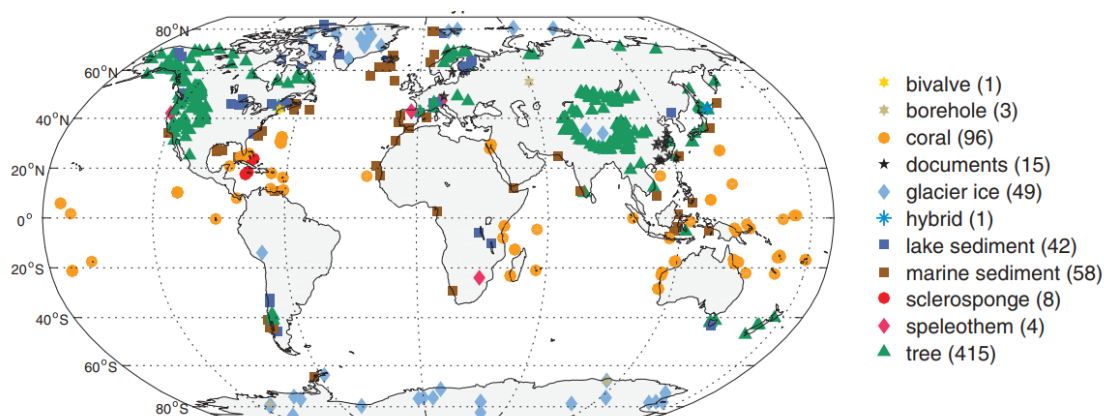
(**Figura 45**). Em escalas seculares mais longas, todas as regiões estavam geralmente mais quentes e, em seguida, ficaram mais frias; no entanto, não havia intervalos de calor ou frio multidecadais globalmente síncronos que definissem um Período Medieval Quente ou a Pequena Idade do Gelo mundial. Em vez disso, o tempo específico dos intervalos de pico quente e frio variava regionalmente, com variabilidade multidecadal, resultando em desvios de temperatura regionalmente específicos de uma tendência de resfriamento global subjacente. Conforme ilustrado na retrocitada figura, o período de cerca de 830 a 1100 d.C. geralmente abrangeu um intervalo quente em todas as quatro regiões do hemisfério norte. Na América do Sul e na Australásia, um período quente ocorreu mais tarde, por volta de 1160 a 1370 d.C. No Ártico e na Europa, as temperaturas eram relativamente altas durante os primeiros séculos d.C. A maioria das outras reconstruções é muito curta para inferir temperaturas antes de cerca de 1000 d.C. Por volta de 1580 d.C., todas as regiões, exceto a Antártica, entraram em um período de frio prolongado que prevaleceu até o final do séc. 19.



**Figura 45** – Reconstruções de temperatura em escala continental. Temperaturas padronizadas médias de 30 anos para as sete regiões da Rede PAGES 2k. A América do Norte inclui uma reconstrução baseada em anéis de árvore mais curta e uma reconstrução mais longa baseada em pólen. Contornos tracejados incluem intervalos de forçamentos negativos vulcânicos e solares pronunciados desde 850 d.C. O painel inferior mostra a contagem contínua do número de registros de proxy individuais por região. Fonte: PAGES 2k Consortium et al. (2013).

Ainda analisando a **Figura 45**, nota-se que a representatividade espacial e temporal das amostras de testemunhos é absurdamente discrepante. De um lado, existe baixa quantidade

de testemunhos no Hemisfério Sul (Australásia, América do Sul e Antártida), bem como possui séries mais curtas, de 1.000 anos (Australásia) e de 1.200 anos (América do Sul). Do outro lado, a elevada quantidade de testemunhos no Hemisfério Norte (Ártico, Europa, Ásia e América do Norte), representa um peso desproporcional no cálculo da reconstrução da temperatura global. A mais recente compilação em grande escala de registros de testemunhos nos últimos dois milênios é PAGES 2k Consortium et al. (2017), com resultados relativos à segunda fase (2014-2016) do consórcio. Os dados da referida referência foram apresentados na forma de gráficos em PAGES 2k Consortium et al. (2019), mas somente para escala global. Apesar de ter havido um incremento para 692 registros na base de dados de 2017, a distribuição espacial continuou praticamente a mesma, desproporcional, conforme pode ser observado na **Figura 46**. Além disso, a proporção de registros do Hemisfério Sul em relação ao total global ainda é bastante reduzida, com o valor de 16%, comparável com outros bancos de dados anteriores [15% em Mann et al. (2008) e 12% em PAGES 2k Consortium et al. (2013)].

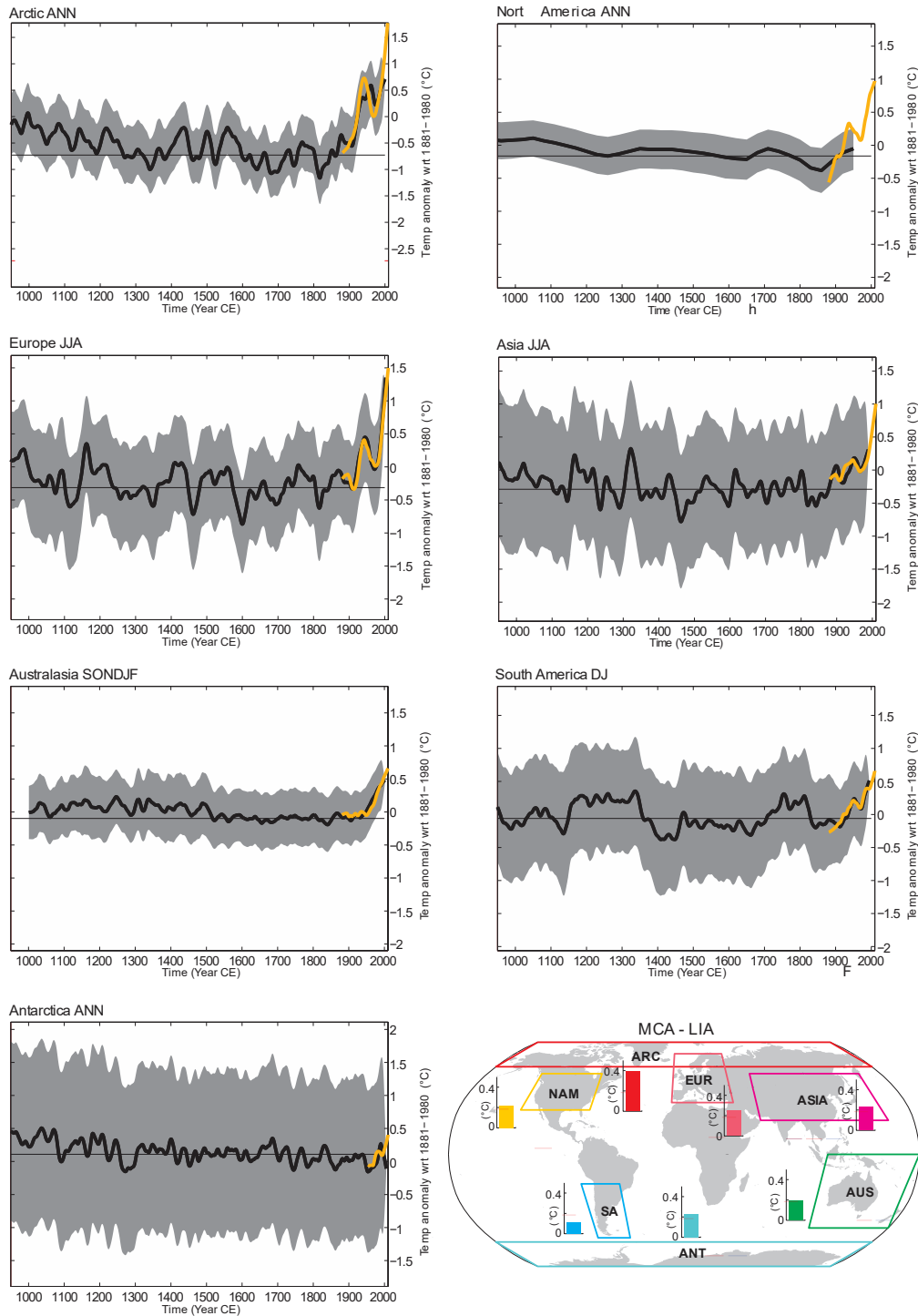


**Figura 46** – Distribuição geográfica de testemunhos (categorizados e codificados) integrantes do banco de dados da PAGES 2k, versão 2.0, de 2017. Fonte: PAGES 2k Consortium et al. (2017)

Como uma abordagem comparativa regional sobre o último milênio, na **Figura 47** constam gráficos ilustrativos de reconstruções de anomalias de temperaturas para diferentes grandes regiões do mundo, conforme fornecido pelo IPCC<sup>132</sup> (MASSON-DELMOTTE et al., 2013). Na sequência, a **Figura 48** apresenta reconstruções de temperaturas com melhores resoluções, relativas ao período de 1500 a 2000, para as seguintes regiões: Ártico, Europa, Ásia, América do Norte, Oceano Atlântico ocidental, Oceano Pacífico ocidental, Oceano Índico, Australásia, América do Sul e Antártica. Comparativamente, nota-se que, desde meados do séc. 19, regiões do Hemisfério Norte

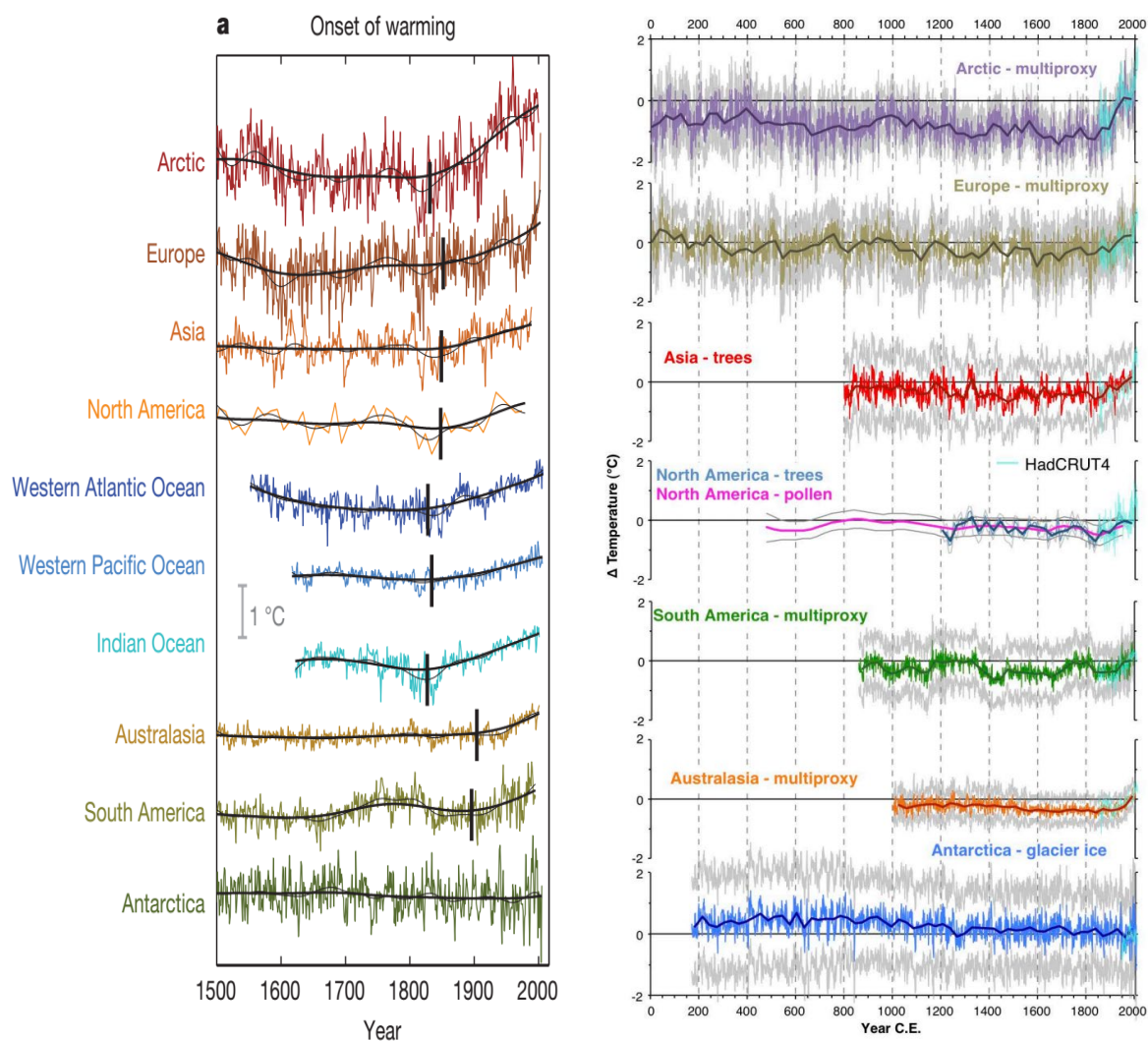
<sup>132</sup> O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas, reconhecido pela sua sigla em inglês IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) foi estabelecido pelas Nações Unidas, em 1988, por meio de duas de suas organizações: o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), juntamente com a Organização Meteorológica Mundial (OMM). Informações complementares, consultar: Oliveira e Vecchia (2009); Oliveira (2010), Capítulo 7 (p. 301); e Oliveira e Vecchia (2013).

apresentaram um taxa maior de aquecimento em relação à regiões do Hemisfério Sul (Australásia e América do Sul), onde o início do aquecimento parece atrasado. Durante todo período, não foi detectada qualquer tendência significativa de aquecimento na Antártida.



**Figura 47** – Reconstruções regionais de temperatura no último milênio (950–2010), com anomalias de temperatura (linha preta) e incerteza estimada (envelope cinza). Linhas amarelas representam temperaturas observadas da série instrumental CRUTEM4. O mapa na parte inferior direita mostra as regiões individuais de cada reconstrução e, nas barras, indica as diferenças (amplitude) entre as anomalias climáticas do período quente (ACM, 950-1250) e o período frio (PEG, 1450-1850) nessas regiões. Fonte: adaptado de Masson-Delmotte et al. (2013), p. 419.





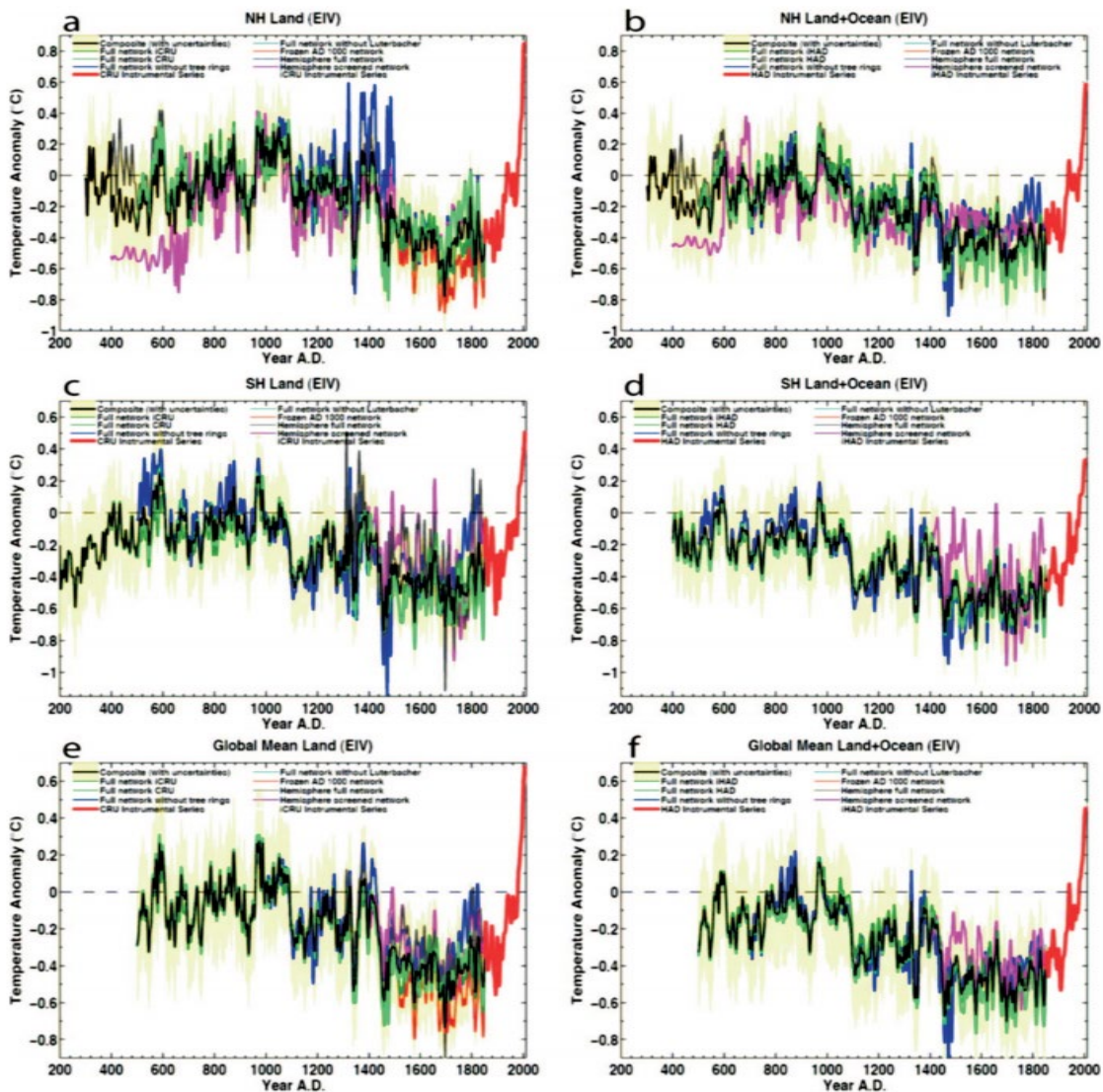
**Figura 48** – Reconstruções de temperaturas em diferentes regiões do mundo. **(A)** Gráficos para período de 1500-2000, nos quais o início da fase de aquecimento moderno é indicado pela barra vertical preta em cada série. **(B)** Gráficos para os últimos 2000 anos. Na América do Sul, a temperatura reconstruída de 1971–2000 d.C. foi semelhante ao máximo recorde em 1251–1280 d.C. Fontes: (A) Abram et al. (2016); PAGES 2k Consortium et al. (2013), Figura S2 do material suplementar.

### 3.1.1.2. Reconstruções inter-hemisféricas

Até 2014, de mais de 25 reconstruções de temperatura em escala hemisférica publicadas nas últimas décadas, apenas três cobriam o HS, dominado pelo oceano. Essas reconstruções de temperatura do HS incluem apenas sete ou menos conjuntos de dados de testemunhos para todo o hemisfério sul (NEUKOM et al., 2014).

Mann et al. (2008) reconstruíram a temperatura da superfície em escala hemisférica e global durante grande parte dos últimos 2.000 anos, usando um conjunto bastante expandido de dados de testemunhos representativos de mudanças climáticas nas escalas decadal a centenária.

Segundo os autores, as temperaturas médias do HS são um pouco mais fracas em relação ao HN, plausivelmente devido à relativa escassez de dados de testemunhos no HS. As temperaturas no HS atingiram picos de  $+0,4\text{ }^{\circ}\text{C}$  na parte continental do HS [(Figura 49-(c))] e  $+0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$  quando considerada a temperatura continental + oceânica [(Figura 49-(d)]. Para o HN, os valores máximos foram, respectivamente, de  $+0,6\text{ }^{\circ}\text{C}$  [(Figura 49-(a))] e  $+0,4\text{ }^{\circ}\text{C}$  [(Figura 49-(b))]. De modo geral, o calor recente no HS parece anômalo no contexto dos últimos 1.500 anos das reconstruções. Com ressalvas sobre incertezas associadas aos poucos dados do HS utilizados no estudo, os autores alertam que reconstruções mais confiáveis sobre variações de temperatura de longo prazo no HS e no globo como um todo deveriam aguardar a coleta de dados de testemunhos adicionais.

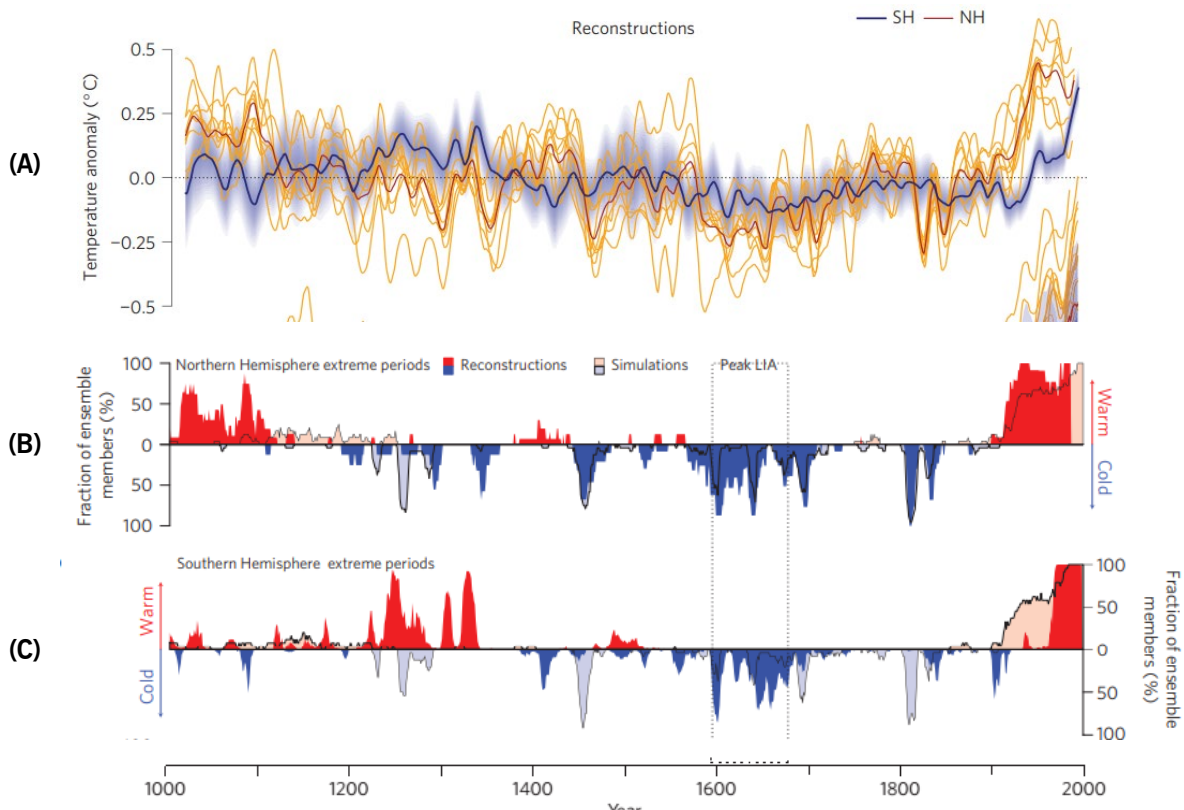


**Figura 49** – Comparação da média das anomalias de temperatura: no HN para continentes (a) e continentes combinados com oceanos (b); no HS, continentes (c) e continentes combinados com oceanos (d); média global, continentes (e) e continentes combinados com oceanos (f). Atentar que as escalas verticais dos dois gráficos superiores são diferentes dos gráficos inferiores. Obs.: a baixa qualidade da imagem é uma característica da própria fonte. Fonte: Mann et al. (2008), Figura S6 do material suplementar.

Neukom et al. (2014), com base em uma rede sem precedentes de registros de testemunhos paleoclimáticos terrestres e oceânicos, apresentam uma nova reconstrução da temperatura do HS [**Figura 50-(A)**], com boa resolução anual para o último milênio. Os autores utilizaram uma extensa rede de dados contendo mais de 300 locais individuais, produzindo 111 preditores de temperatura – coleção de testemunhos que quase duplica o número de registros considerados na tentativa de reconstrução anterior mais avançada, de Mann et al. (2008).

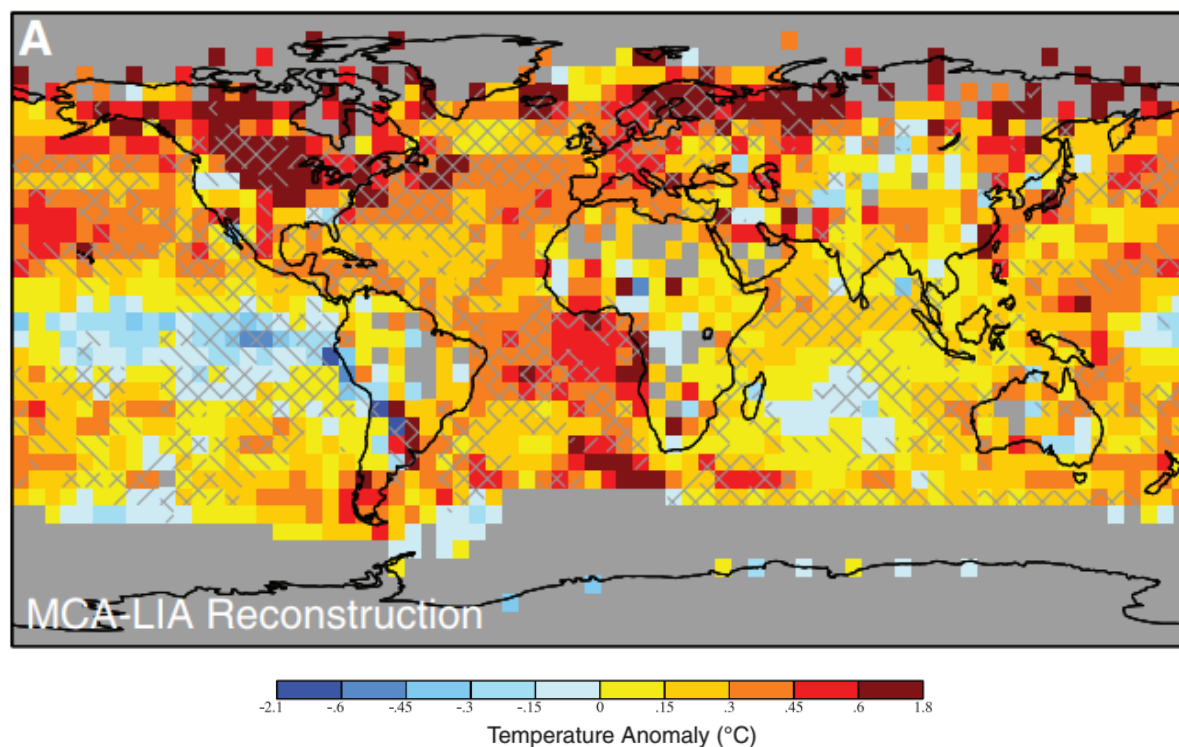
Em análise conjunta com reconstrução de temperatura do HN, o registro obtido revelou um período de frio estendido (1594–1677) em ambos os hemisférios, mas nenhuma fase quente globalmente coerente durante a era pré-industrial (1000-1850). A fase quente atual (pós-1974) é o único período do último milênio em que ambos os hemisférios provavelmente experimentaram extremos quentes contemporâneos. Para quantificar a coerência entre os extremos de temperatura do HN e HS, foram identificadas as porcentagens de membros do conjunto mostrando temperaturas médias decadais significativas [**Figura 50-(B)** e **(C)**].

A análise de Neukom et al. (2014) fornece evidências das seguintes coincidências sendo observadas tanto no HN quanto no HS: uma fase fria global com o pico da “Pequena Idade do Gelo”; e uma fase quente do final do séc. 20 de duração e magnitude elevada nos últimos 1000 anos. Em contraste, não foram encontrados suportes empíricos coerentes para a ACM globalmente, sendo que, enquanto observou-se anomalias positivas e extremos no HN no período de 1000–1100, o mesmo comportamento foi observado posteriormente no HS, no período de 1200–1320. Os autores concluem que a nova reconstrução da temperatura do HS sugere que os dados apenas do HN são insuficientes para caracterizar, em escala global, anomalias de temperatura, tendências e extremos.



**Figura 50** – Variabilidade da temperatura ao longo do último milênio no HN e HS. **(A)** Reconstrução da temperatura média para o HS (linha azul) e HN (linha vermelha) em relação à média do milênio para o período 1000–2000. O sombreamento em azul é baseado nas incertezas de reconstrução do HS. As linhas laranjas finas representam nove reconstruções individuais de temperatura que constituem o conjunto de dados do HN. **(B)** e **(C)** Períodos extremos de extremos climáticos. Fração de membros do conjunto com temperaturas decadais extremas de calor (vermelho) ou frio (azul) no HN (B) e HS (C), respectivamente. No gráfico (C) do HS, nota-se que as simulações (colorações claras) divergem das reconstruções (colorações escuras) em dois períodos: 1250–1300, quando as reconstruções indicavam aquecimento, as simulações apresentaram resfriamento; e 1900–1960, quando simulações indicavam aquecimento, mas as reconstruções não. Tais divergências são devido ao fato de as simulações utilizarem as temperaturas do HN como referência de calibração. Fonte: adaptado de Neukom et al. (2014).

Por fim, Mann et al. (2009), com base em uma rede global de testemunhos, elaboraram uma reconstrução dos padrões de temperatura ao longo dos últimos 1.500 anos, ressaltando a distribuição espacial da transição entre a ACM e a PEG. Como resultado, a representação visual é dada pela **Figura 51**, na qual exibe-se um mapa contendo uma representação quadriculada, cujos quadrados (*pixels*) representam a diferença entre os valores correspondentes da temperatura da ACM (período mais quente) e da temperatura da PEG (período mais frio). De modo geral, a ACM foi mais quente que a PEG em quase todas regiões do planeta, notadamente na região Ártica, ao norte da América do Norte e da Eurásia.



**Figura 51** – Mapa<sup>133</sup> quadriculado com padrão espacial da diferença entre as reconstruções das temperaturas da ACM e da PEG. Fonte: Mann et al. (2009).

Com base na análise da variabilidade da temperatura inter-hemisférica climáticos para o último milênio, Neukom et al. (2014) sugerem que os modelos tendem a superenfatizar a sincronicidade entre o HN e o HS, subestimando o papel da dinâmica interna do oceano-atmosfera, particularmente no HS dominado pelo oceano. Os resultados implicam que, com base em avaliações de forçamentos climáticos externos e variações de temperatura no hemisfério norte isoladamente, a previsibilidade do sistema climático em escalas de tempo de décadas a século pode ser menor do que o esperado.

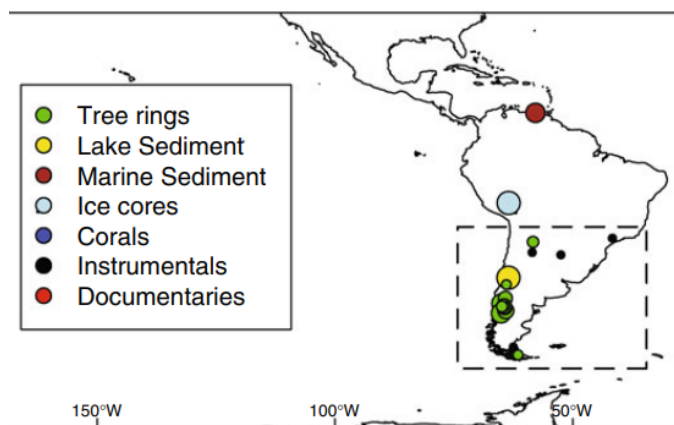
Portanto, a partir da reconstrução da temperatura do HS, Neukom et al. (2014) alertam que os dados do HN por si só são insuficientes para caracterizar anomalias de temperatura, tendências e extremos em escala global. Consequentemente, estudos de detecção e atribuição e as estimativas de sensibilidade climática com base apenas nos dados do HN podem não ser representativos do sistema climático global. A consideração futura da evolução da temperatura do HS deve reduzir as incertezas na estimativa e atribuição de variações climáticas naturais e antropogenicamente forçadas.

<sup>133</sup> Com maior preenchimento dos *pixels* a partir de simulações, mapas análogos a esse podem ser consultados em González-Rouco et al. (2011) – escala global; Fernández-Donado et al. (2013) – escala global; e Goosse et al. (2012) – escala do hemisfério norte.

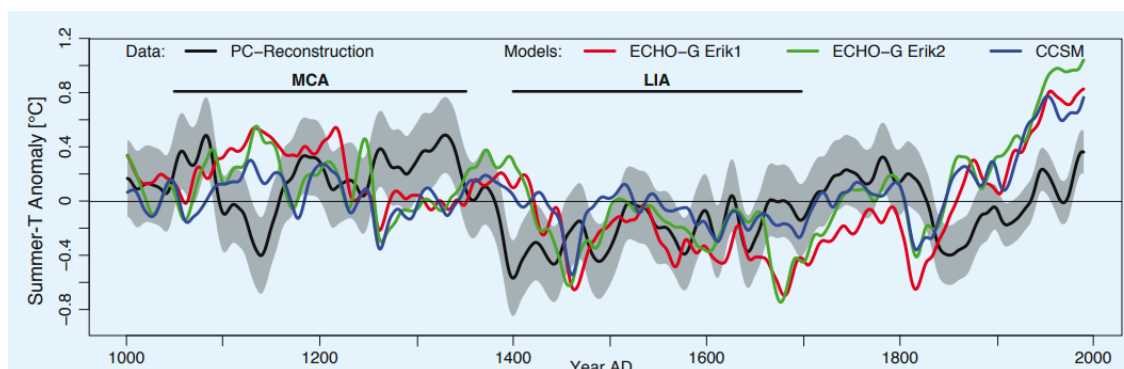
### 3.1.1.3. Reconstruções na América do Sul

A compreensão dos processos atuais e futuros da dinâmica do sistema climático podem se beneficiar muito do conhecimento dos padrões espaciais, tendências, amplitudes e frequências das variações climáticas passadas. Até recentemente, o número bastante baixo e a distribuição espacial desigual de testemunhos com alta resolução temporal do hemisfério sul não permitiam reconstruções em escala continental confiáveis em escalas de tempo interanual a interdecadal. Dada a importância do potencial mecanismo de gangorra entre os hemisférios Norte e Sul (HN e HS) e o papel impulsionador dos oceanos do HS na regulação da variabilidade climática global, a América do Sul é uma região chave para o estudo dos processos e dinâmicas climáticas. O clima na América do Sul é influenciado por uma variedade de padrões oceânicos e atmosféricos, como o El Niño Oscilação Sul (ENSO), o Modo Anular Sul (MAS) e a Oscilação Decadal do Pacífico (ODP). Assim, as reconstruções climáticas do HS abrangendo os últimos séculos a milênios podem fornecer percepções sobre os mecanismos subjacentes da variabilidade climática e respectivos fatores influenciadores. Essas reconstruções são essenciais para comparações de modelos climáticos (LUTERBACHER; NEUKOM; GONZÁLEZ-ROUCO, 2011).

Além das reconstruções de temperaturas na América do Sul já apresentadas de modo comparativo na **Figura 47** e **Figura 48**, considera-se mais detalhadamente aqui a reconstrução cobrindo o último milênio para a América do Sul meridional, publicada por Neukom et al. (2011). Baseada em uma análise de 22 testemunhos de diferentes tipos (*multiproxy*) que cobre os últimos 1.000 anos no sul da América do Sul (SAS) [área abaixo da latitude 20°S (**Figura 52**)], os supracitados autores apresentaram os resultados (**Figura 53**) de uma reconstrução da temperatura do verão austral (Dezembro/Janeiro/Fevereiro – DJF). No referido estudo, ênfase especial foi dada à diferença de temperatura entre os períodos 1001-1350 (ACM) e 1400-1700 (PEG). De modo geral, a reconstrução aponta para condições mais quentes durante a ACM, que atinge anomalias de até +0,4 °C, valor significativamente elevado, os quais, mesmo parcialmente, excedem os níveis modernos. No início do séc. 14, uma forte diminuição da temperatura é visível, quando começam a prevalecer condições mais frias da PEG (com anomalias de até -0,6 °C), que perdura até o final do séc. 17. Embora não homogêneo no tempo, o período da ACM é, em média, mais quente do que o período da PEG. A diferença na temperatura média do verão austral entre os dois períodos (1001-1350 menos 1400-1700 d.C.) é de aproximadamente 0,4 °C na reconstrução. As reconstruções apontam para anomalias de temperatura positivas no séc. 18, seguidas por uma fase de resfriamento que começa no início do séc. 19. Desde aproximadamente a década de 1850, o SAS experimentou uma tendência de aquecimento de longo prazo, com períodos de resfriamento mais curtos sobrepostos.



**Figura 52** – Localização dos preditores usados para o verão (DJF) no estudo de Neukom et al. (2011). O tamanho dos círculos representa os comprimentos da série (menor: 109 anos, maior: >1.000 anos). As cores representam o tipo de testemunho. A área de reconstrução é marcada pelo retângulo com linha tracejada. Fonte: Neukom et al. (2011).

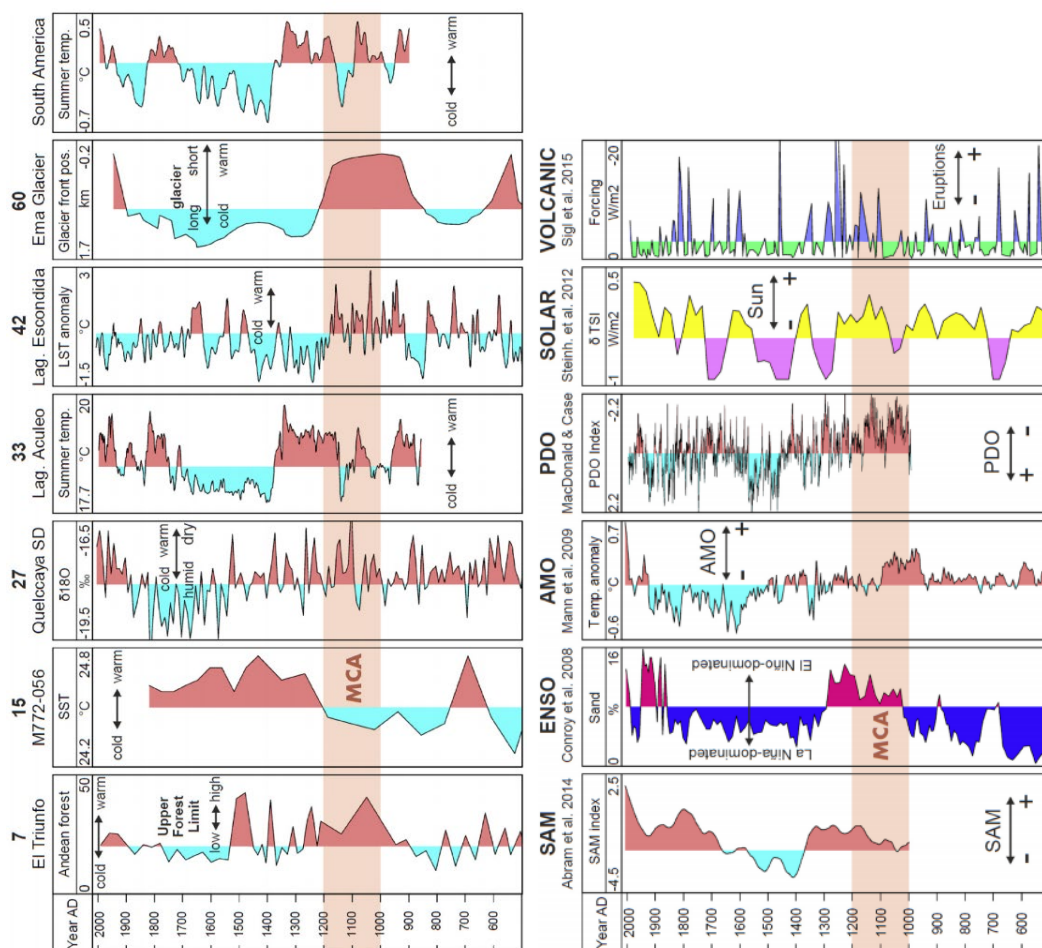


**Figura 53** – Temperatura do ar superficial do verão austral (DJF) para o sul da América do Sul (abaixo da latitude 20°S) para o período 1001-1990 d.C., expressa como anomalias suavizadas de 30 anos em relação à média do período 1001-1700. Linha preta: reconstruções baseadas em regressão múltipla de componente principal e bandas de incerteza associadas (sombreadas). Linhas vermelha, verde e azul: modelos de simulações. Nota-se que as simulações superestimam um aquecimento no período 1850-2000, atingindo valores de +0,8 a +1,0 °C, enquanto que a reconstrução atinge +0,4 °C no mesmo período. Fonte: adaptado de Luterbacher, Neukom e González-Rouco (2011), o qual utilizou os dados originais de Neukom et al. (2010).

Mais recentemente, Lüning et al. (2019) apresentaram uma síntese de paleotemperatura para toda América do Sul, abrangendo os últimos 1.500 anos, com base em dados de múltiplos testemunhos obtidos em 76 locais terrestres e marinhos (**Figura 54**). Como principal resultado, a maioria dos locais da América do Sul considerados no estudo sugere uma ACM quente. O aquecimento relativo à ACM na América do Sul e no HN parece ter ocorrido em grande parte de forma síncrona, provavelmente atingindo intensidades comparáveis. Como fatores mais prováveis para a mudança climática medieval, foram atribuídos os ciclos multicientenários do Pacífico e do Oceano Atlântico, provavelmente ligados ao forçamento solar. Por fim, os autores ressaltam que estudos futuros precisam abordar as principais lacunas de dados que ainda existem fora dos Andes, nas partes central e oriental do continente – ou seja, no Brasil.



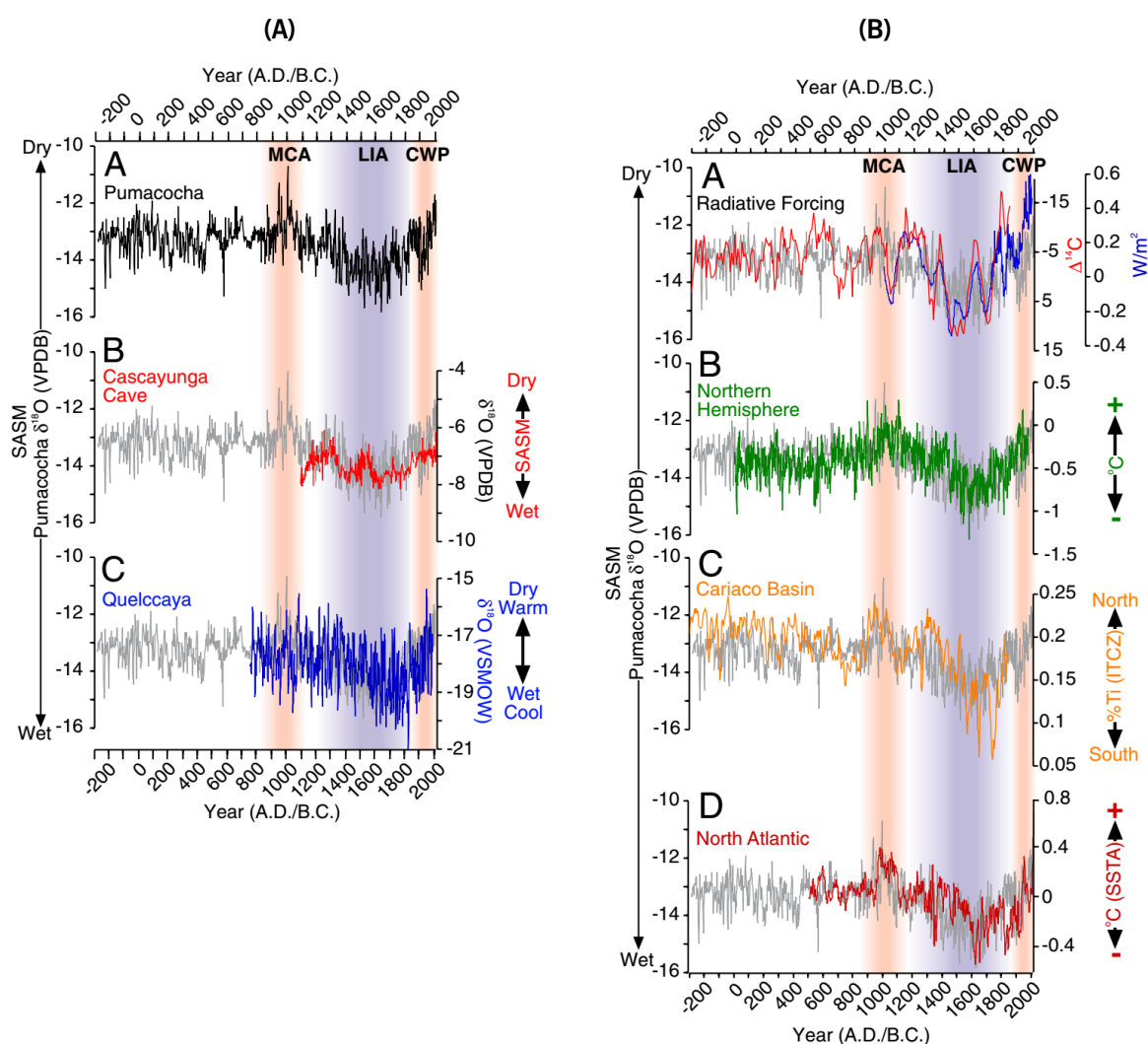
**Figura 54** – Mapa de localização dos 76 locais dos testemunhos considerados no estudo de Lüning et al. (2019).  
Fonte: adaptado de Lüning et al. (2019)



**Figura 55** – Variação da temperatura na América do Sul durante os últimos 1500 anos, com base em testemunhos paleoclimáticos de locais de estudo selecionados (número do local indicado na lateral, conforme mapa de localização na Figura 54). Reconstruções dos principais fatores da variabilidade climática natural na América do Sul: Modo Anular Sul (MAS), El Niño-Oscilação Sul (ENSO), Oscilação Multidecadal Atlântica (OMA), Oscilação Decadal do Pacífico (ODP), mudanças na atividade solar; e erupções vulcânicas. Obs: escala temporal invertida (da esquerda para direita: data mais antiga para mais recente). Fonte: adaptado de Lüning et al. (2019).

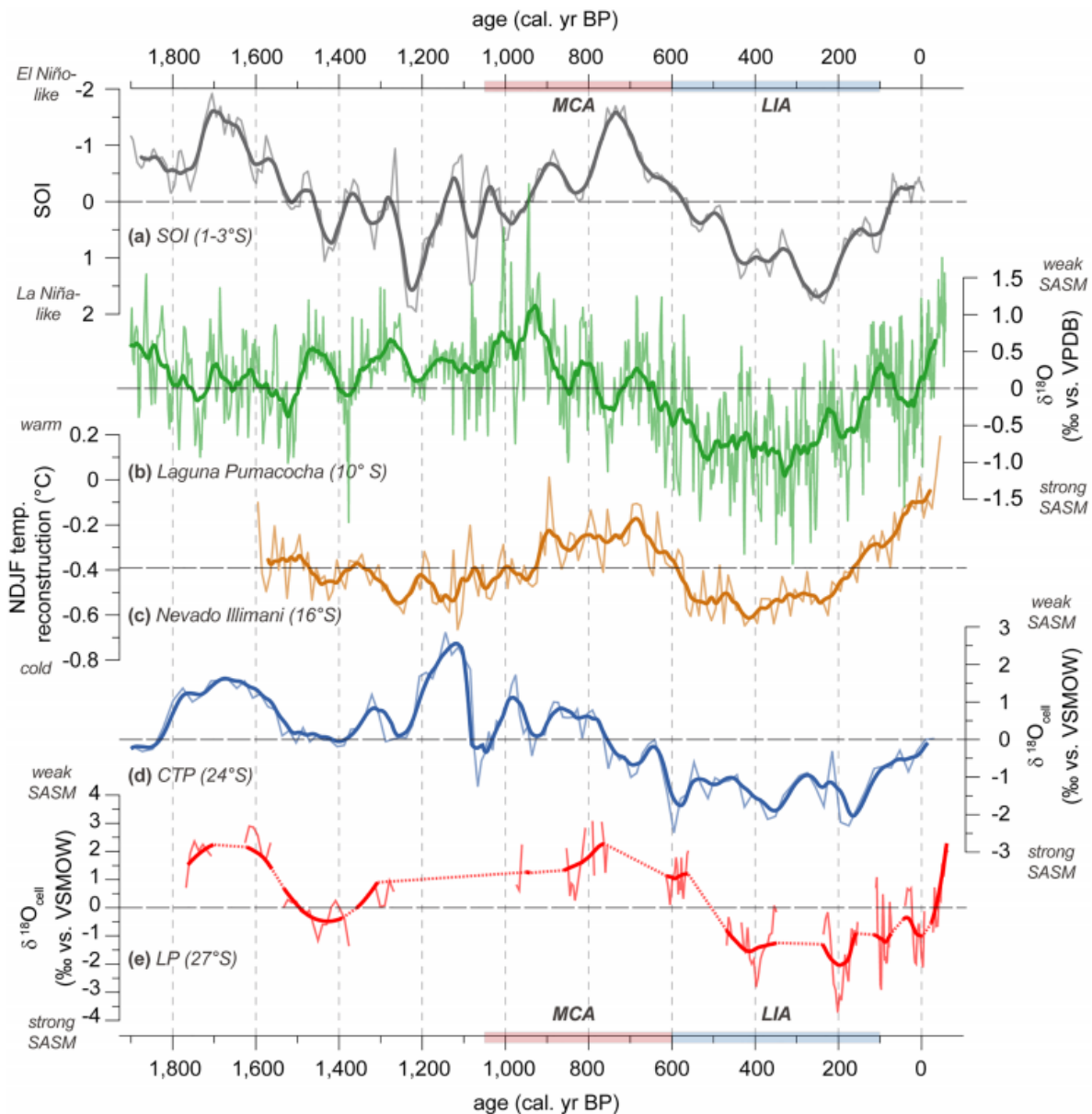


Com base em registros paleoclimáticos obtidos em regiões centrais dos Andes no Peru, Bird et al. (2011) detalharam os perfis de variação do padrão de precipitação na América do Sul [Figura 56-(A)]. As variações isotópicas ( $\delta^{18}\text{O}$ ) das precipitações obtidas em três pontos indicam períodos correspondentes à ACM e da PEG, as quais possuem alta correlação com as variações de anomalias de radiação solar, da localização de Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e das temperaturas no Hemisfério Norte e no Atlântico Norte [Figura 56-(A)].

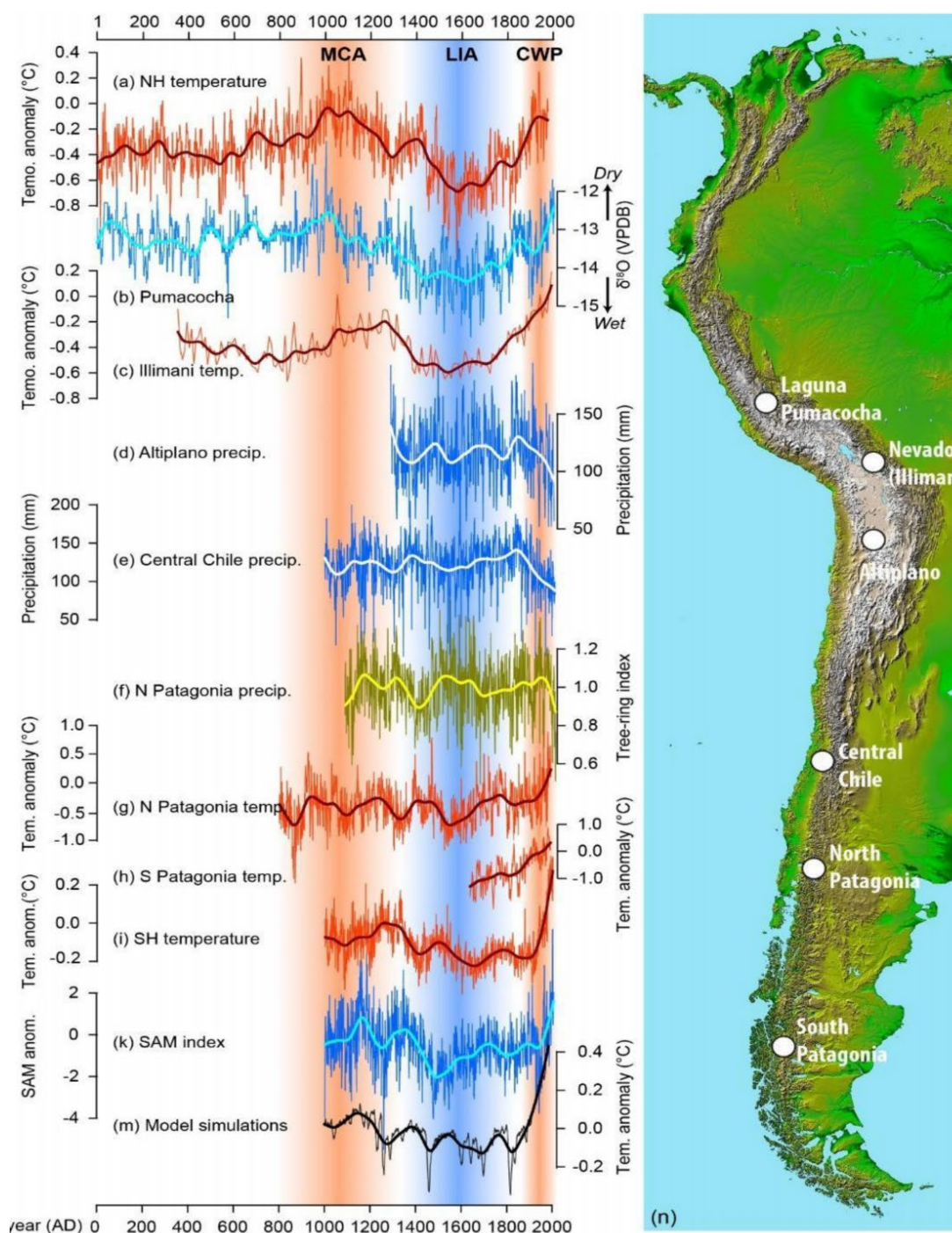


**Figura 56** – Reconstruções paleoclimáticas na América do Sul, evidenciando a ACM e a PEG. **(A)** Reconstruções da precipitação na América do Sul em três pontos da região central dos Andes, com a indicação dos períodos quentes medieval e moderno (faixas verticais vermelhas claras) e período frio da PEG (faixa vertical azul claro). **(B)** Variações de anomalias referentes a: forçamento radiativo da variabilidade solar (primeiro gráfico); temperatura no Hemisfério Norte (segundo gráfico); localização da ZCIT (terceiro gráfico); temperatura superficial oceânica no Atlântico Norte. Fonte: Bird et al. (2011).

Em estudos mais atuais que abragem diversos outros locais de registros climáticos, Kock et al. (2020) e Pabón-Caicedo et al. (2020) apresentam resultados semelhantes [Figura 57 e Figura 58, respectivamente], com a nítida expressão da ACM e da PEG nas diversas séries consideradas.

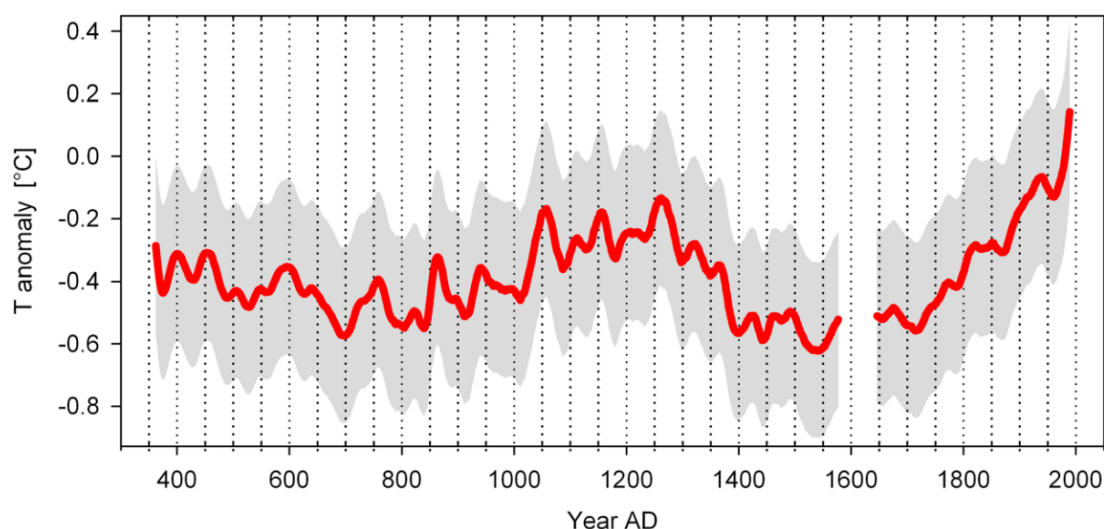


**Figura 57** – Comparação paleoclimática de: **(A)** Índice de Oscilação do Sul (IOS) em escala reversa; **(B)** Variação isotópica ( $\delta^{18}\text{O}$ ) em Laguna Pumacocha (Peru); **(C)** Anomalias de temperatura em Nevado Illimani (Bolívia); **(D)** Variação isotópica ( $\delta^{18}\text{O}$ ) em Cerro Tuzgle (Argentina); **(E)** Variação isotópica ( $\delta^{18}\text{O}$ ) em Lagunillas (Chile). Na parte superior, a ACM é indicada em vermelho e a PEG em azul. Fonte: Kock et al. (2020).



**Figura 58** – Variações climáticas ao longo dos Andes durante os últimos 2.000 anos e suas relações com as forças hemisféricas e globais da variabilidade climática de longo prazo. Reconstrução de anomalias de: **(A)** Temperatura no HN; **(B)** Precipitações na Lagoa Pumacocha (Peru); **(C)** Temperatura tropicais da América do Sul; **(D)** Precipitação no Altiplano Sul-americano; **(E)** Precipitação de início do verão no Chile Central; **(F)** Precipitação no norte da Patagônia; **(G)** Temperatura do verão no norte da Patagônia; **(H)** Temperatura no sul da Patagônia; **(I)** Temperatura média para o Hemisfério Sul; **(K)** Índice do Modo Anular do Sul; **(M)** Conjunto de modelos climáticos para a variabilidade da temperatura no Hemisfério Sul. **(N)** Mapa da parte oeste da América do Sul mostrando a localização dos registros de testemunhos considerados nas séries. Fonte: Pabón-Cañedo et al. (2020).

Como último exemplo de uma listagem oriunda de uma pesquisa não exaustiva, apresenta-se o resultado obtido por Kellerhals et al. (2010), relativo à reconstrução das anomalias de temperatura tropicais da América do Sul nos últimos 1600 anos. Diferente das figuras anteriores, o gráfico com aparência mais suavizada (**Figura 59**) foi obtido a partir de somente um ponto de coleta de testemunho. Ressalva-se, portanto, que o registro apresentado pelos autores tem limitações de representatividade ao extrapolar os dados de um único ponto para toda América do Sul. Ciente das circunscrições dos resultados, cabe destacar que o aspecto geral da reconstrução revela os episódios ACM e PEG como distinguíveis: com o período quente (1050-1250) apresentando picos de anomalias positivas de  $+0,2$  °C; e o período frio (1400-1700) apresentando anomalias de  $-0,6$  °C.



**Figura 59** – Anomalias de temperatura tropicais da América do Sul (em relação à média de 1961–1990) reconstruídas para os últimos 1600 anos (curva vermelha suavizada). A região sombreada cinza refere-se à incerteza de  $\pm 2\sigma$ . A má qualidade do testemunho impediu a análise química para o intervalo entre 1580 e 1640. Fonte: Kellerhals et al. (2010).

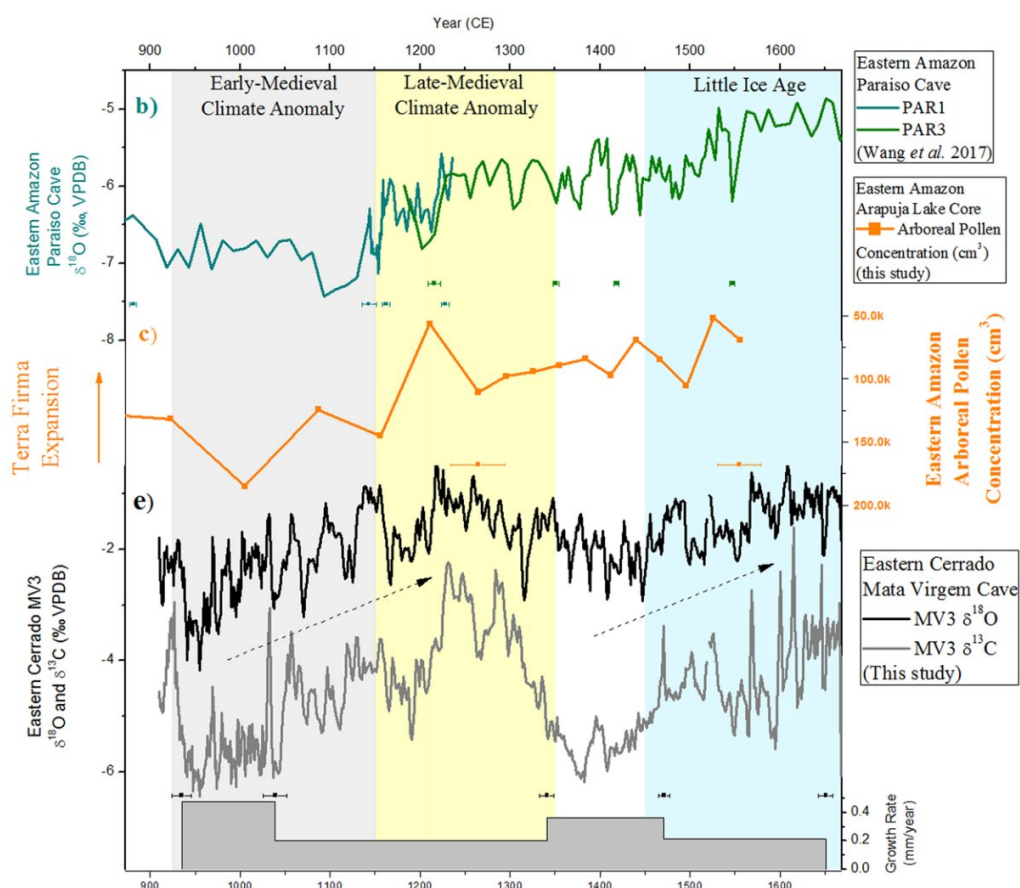
#### 3.1.1.4. Reconstruções no Brasil

Até o momento, parece ainda não existir uma série de temperatura do Brasil em escalas paleoclimáticas. No entanto, merece destaque o considerável esforço registrado em Ambrizzi e Araujo (2015), especificamente no “Capítulo 4 – Informações Paleoclimáticas Brasileiras”.

Além da amostra aqui considerada, fica a indicação da base de dados indicada na nota de rodapé nº 131, para eventuais consultas e futuros aprofundamentos no tema. No caso do Brasil, na data de hoje (abr/2021), na referida base de dados paleoclimáticos consta um pouco

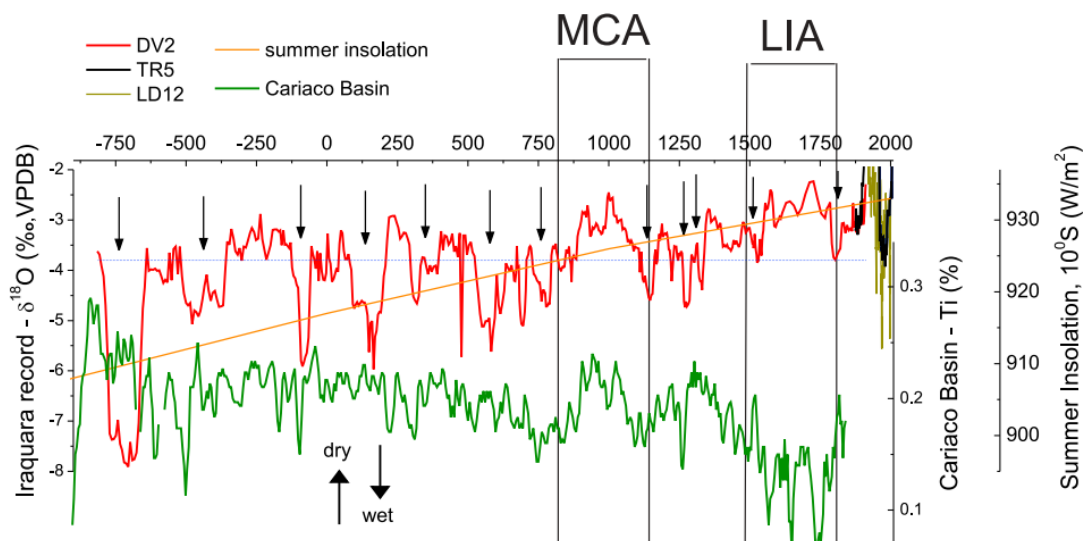
mais de 20 estudos no território nacional. Tanto o projeto *PAGES 2k* quanto o projeto no *Researchgate* da referida nota de rodapé contribuem na consolidação e o maior adensamento de análises de testemunhos climáticos pontuais que, no futuro, permitirão traçar, com maior segurança e precisão, o panorama geral do paleoclima nas escalas regional (América do Sul) e nacional (Brasil).

Do que foi possível averiguar, foram encontrados estudos abrangendo reconstruções climáticas para algumas regiões do Brasil. Em Azevedo et al. (2019) foram apresentadas reconstruções de paleoprecipitação mostrando uma mudança consistente no regime hidrológico durante a ACM na Amazônia oriental e no Cerrado (**Figura 60**). Os autores alertaram que, na América do Sul, este evento correspondente a um período quente é mais proeminentemente reconhecido como um período seco na região tropical dos Andes, conforme visto em registros isotópicos. Por outro lado, em outras regiões e registros de testemunhos, seus impactos potenciais não são bem compreendidos.



**Figura 60** – Comparação entre os registros paleoclimáticos da Amazônia Oriental e do Cerrado Oriental. **(B)** Caverna do Paraíso, Amazônia Oriental; **(C)** Lago Arapujá, concentração de palinóforos (pólenes) arbóreos no núcleo lacustre, Amazônia Oriental; **(E)** Caverna Mata Virgem, registros de taxa de crescimento, Cerrado Oriental. Fonte: Azevedo et al. (2019).

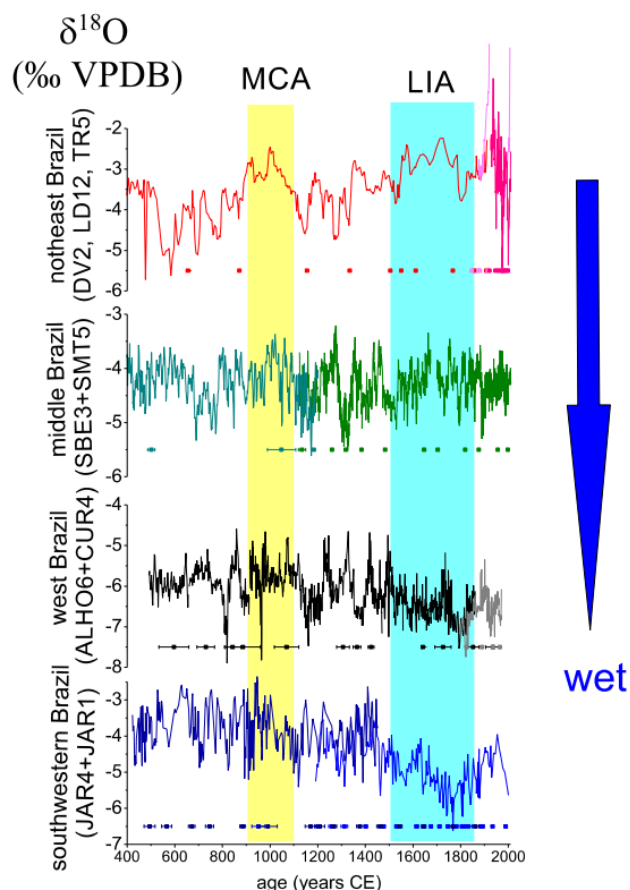
Em estudo de isótopos de oxigênio de estalagmites, Novello et al. (2012) apresentam registro de alta resolução de precipitação no nordeste do Brasil, cobrindo os últimos 3000 anos. O resultado (**Figura 61**) mostra flutuações na precipitação associadas a variações na intensidade das monções de verão da América do Sul, incluindo os períodos correspondentes à PEG e à ACM. Ao contrário de outros registros de monções no sul da América do Sul tropical, condições de seca prevaleceram durante a PEG no Nordeste. Os autores sugerem que as mudanças na precipitação na região estão principalmente associadas a variações da Oscilação Multidecadal do Atlântico (OMA) e, em menor grau, causadas por flutuações na temperatura superficial do Pacífico tropical. O registro também mostrou uma periodicidade distinta em torno de 210 anos, que tem sido associada à variabilidade solar.



**Figura 61** – Registro isotópico ( $\delta^{18}\text{O}$ ) de Iraquara composto por estalagmites DV2 (vermelho), TR5 (preto) e LD12 (marrom). Os eventos úmidos são indicados por setas verticais. Em verde e laranja estão indicados os registros sedimentares da Bacia do Cariaco e a curva de insolação. Fonte: Novello et al. (2012).

Em estudo mais recente, uma visão geral dos registros de espeleotemas da América do Sul é apresentado por Deininger et al. (2019). As principais características climáticas nos últimos dois milênios na América do Sul foram forçadas pelos períodos quentes e frios do HN durante a ACM e a PEG. As condições quentes no HN forçam um posicionamento da ZCIT ao norte, que enfraqueceu a atividade convectiva do sistema de monções da América do Sul. Este enfraquecimento foi exibido como um aumento nos valores de  $\delta^{18}\text{O}$  de espeleotemas durante a ACM nos registros. Durante a PEG, a ZCIT provavelmente mudou para o sul, levando a condições mais úmidas, conforme evidenciado por vários registros de espeleotemas na América do Sul (**Figura 62**). Durante o recente período de aquecimento, as condições convectivas na

América do Sul parecem ser semelhantes à ACM, com o aquecimento no HN levando a um posicionamento para o norte da ZCIT e um enfraquecimento progressivo do sistema de sistema de monções da América do Sul.



**Figura 62** – Séries temporais isotópicas ( $\delta^{18}\text{O}$ ) de espeleotemas para os últimos 2.000 anos. De cima para baixo: nordeste do Brasil; centro do Brasil; oeste do Brasil e sudoeste do Brasil. O sombreado amarelo e azul indicam a PEG e a ACM, respectivamente. Fonte: Deininger et al. (2019).

### 3.1.2. Presente e futuro

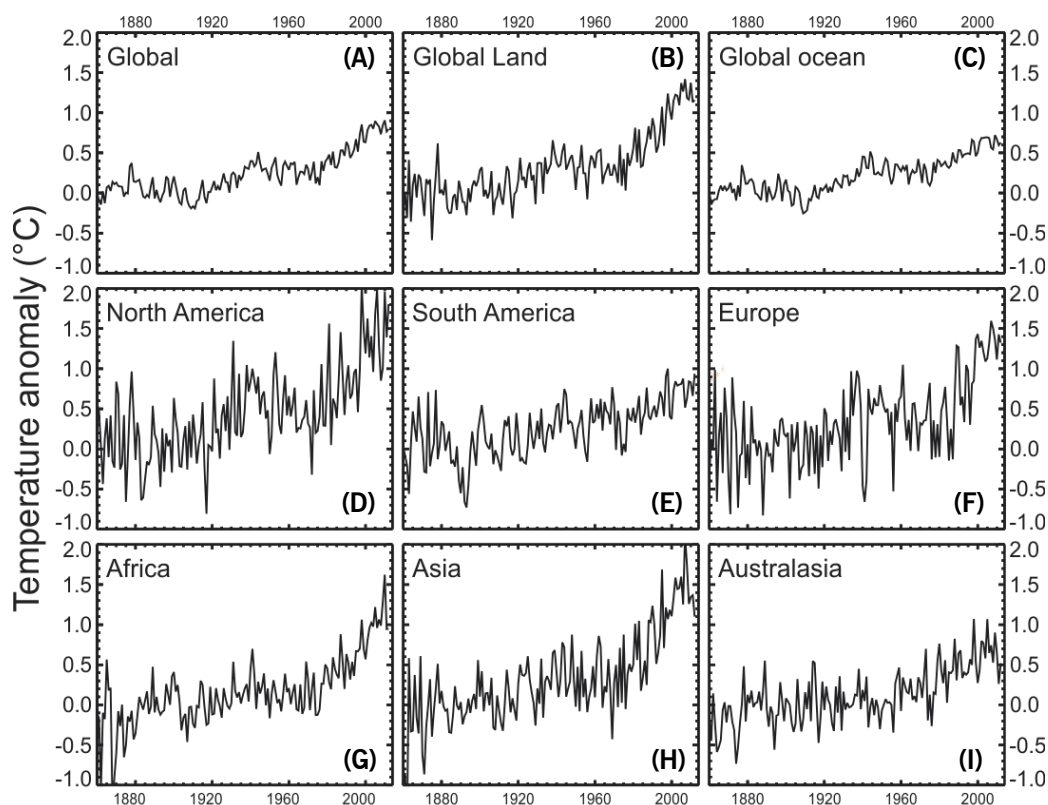
Em estudos sobre mudanças climáticas recentes, o “presente” na verdade costuma se referir ao período de observações diretas das temperaturas do ar por diferentes instrumentos (estações climatológicas, satélites, radiossondas). Oriundas de estações climatológicas, as principais e maiores séries de dados de temperatura do ar, representativas do nível global, se estendem até cerca de 150 anos atrás. Quanto ao futuro, modelagens e previsões costumam traçar projeções de temperatura até o ano de 2100.

### 3.1.2.1. Observações e projeções convencionais

Doravante, designa-se que as *projeções convencionais* de temperatura são aquelas que adotam a abordagem típica do IPCC, ou seja, assumem como a hipótese de que as temperaturas globais aumentam de forma diretamente proporcional às emissões de gases de efeito estufa (GEEs). Conseqüentemente, com base em cenários que projetam emissões em níveis exponenciais desses gases, então os modelos convencionais correspondentes indicam climas progressivamente mais quentes, com taxas de aquecimento que seguem, também, um ritmo exponencial.

#### 3.1.2.1.1 Mundo

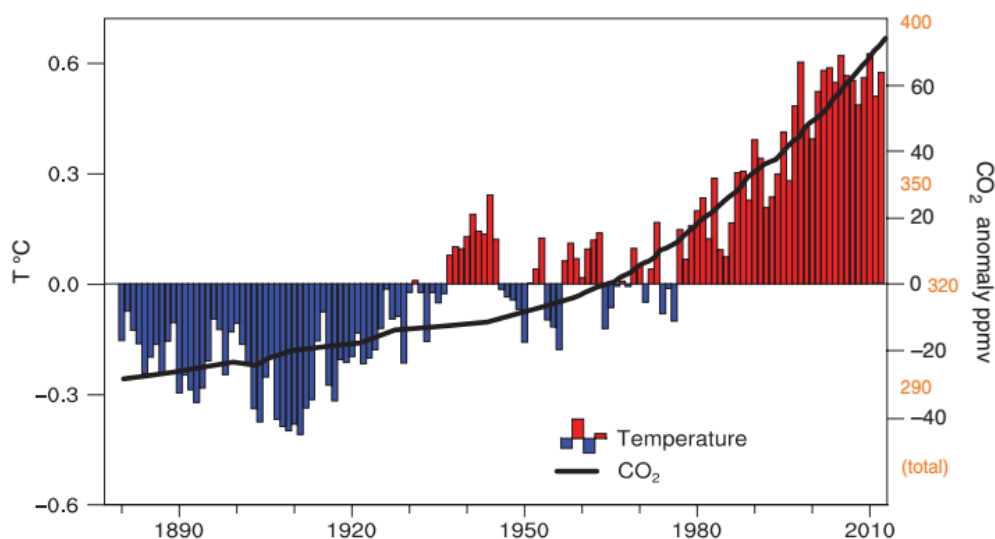
Primeiro, é importante observar que as variações das anomalias de temperatura não são uniformes em todas as regiões do mundo (**Figura 63**). Por conta do calor específico da água, a taxa de aumento das temperaturas foram menores nos oceanos [**Figura 63-(C)**] em relação às temperaturas nos continentes [**Figura 63-(B)**]. O mesmo ocorre quando se compara regiões do Hemisfério Norte, que esquentaram mais do que regiões do Hemisfério Sul. A América do Sul, por exemplo, apresentou um aquecimento cerca de metade do observado na América do Norte.



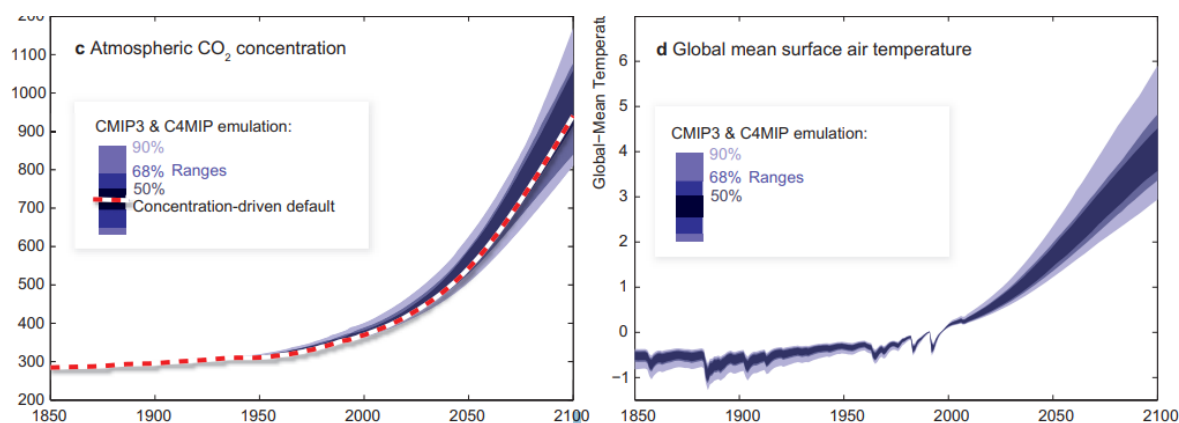
**Figura 63** – Variações das anomalias de temperatura a partir da série HadCRUT4, conforme recortes globais e recortes de regiões do mundo. Fonte: adaptado a partir de Bindoff et al. (2013), p. 889.



O exemplo típico da representação da temperatura do ar no mundo é apresentado no gráfico da **Figura 64**. Nele, consta também uma linha da concentração de CO<sub>2</sub>, cuja tendência de aumento segue um comportamento exponencial desde 1880. Esse tipo de representação gráfica induz, tentadoramente, a supor que o aumento da temperatura também segue o mesmo tipo de tendência. Compele-se a crer que, se as emissões de GEEs seguirem uma taxa explosiva, então as temperaturas também prosseguiriam subindo indefinidamente. A ideia de tal aparente e suposta forte correlação fica ainda mais sugestiva ao se observar a **Figura 65**.

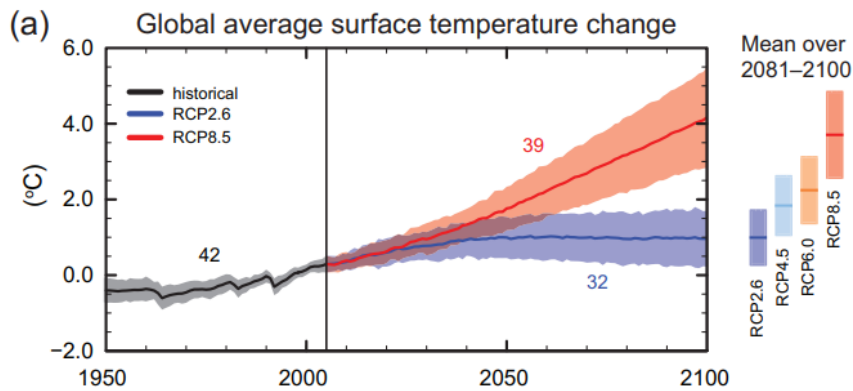


**Figura 64** – Mudanças estimadas nas temperaturas superficiais globais médias anuais [em desvios de °C – barras coloridas em azul (desvio negativo) e vermelho (desvio positivo)] e concentrações de CO<sub>2</sub> (linha preta espessa) desde 1880. As mudanças são mostradas como diferenças (desvios/anomalias) em relação aos valores médios de 1901 a 2000 (com valor de 13,9 °C). As concentrações de dióxido de carbono desde 1957 são de medições diretas em Mauna Loa, Havaí, enquanto as estimativas anteriores são derivadas de registros de gelo. A escala para as concentrações de CO<sub>2</sub> está em partes por milhão (ppm) por volume, relativa a uma média de 320 ppm. Fonte: Trenberth e Fasullo (2013).

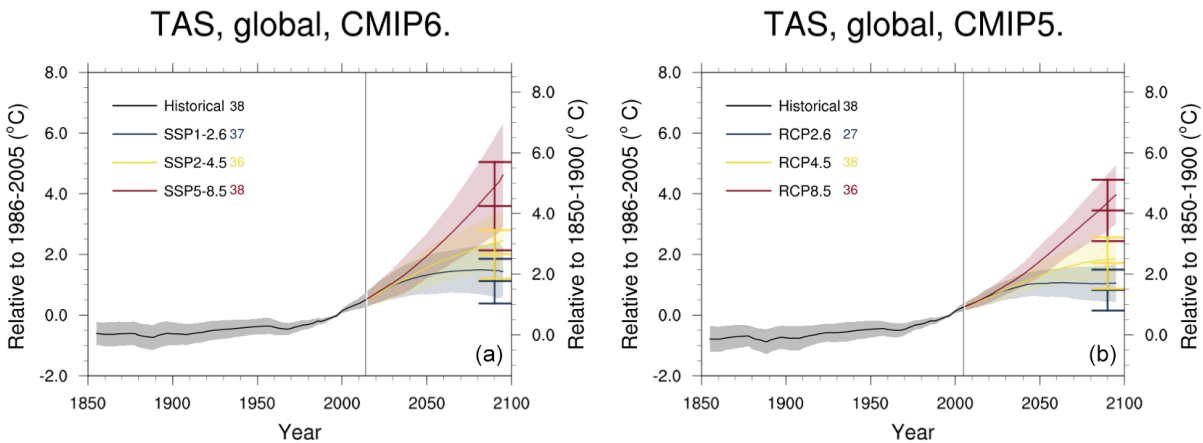


**Figura 65** – Simulações da concentração de CO<sub>2</sub> e da temperatura superficial do ar global, conforme Relatório AR5 do IPCC. Fonte: Collins et al. (2013), p. 1067.

Conforme o último relatório (AR5) do IPCC, no cenário com maiores emissões (RCP8.5), os modelos do CMIP5 estimam um aumento de 2,6 °C a 4,8 °C na temperatura média global para o ano de 2100 (**Figura 66**). Em sua recente última versão, o modelo CMIP6 (a ser considerado no relatório AR6 do IPCC) sutilmente aumentou as projeções das temperaturas para cima, conforme pode-se notar no comparativo apresentado na **Figura 67**.



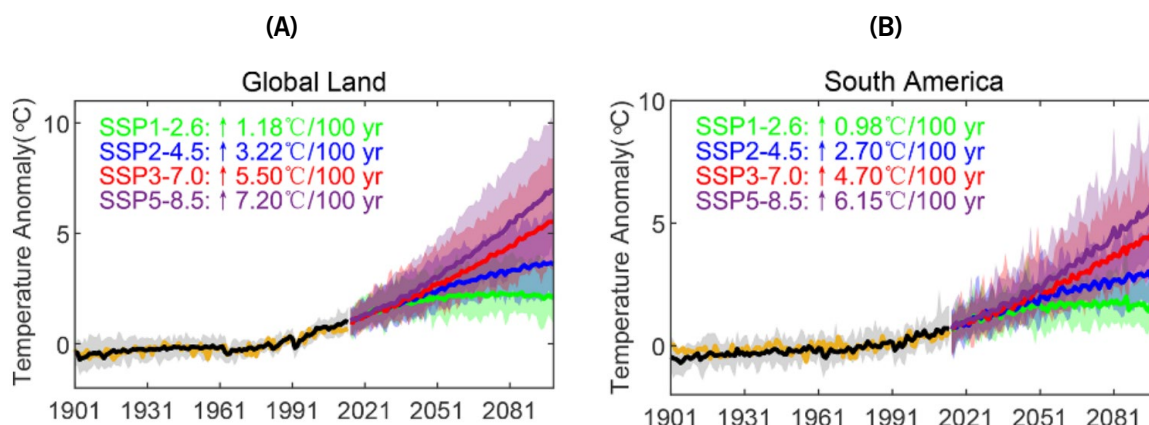
**Figura 66** – Série temporal (de 1950 a 2100) simulada do modelo CMIP5 para a anomalia da temperatura superficial média anual global em relação a 1986-2005. Fonte: IPCC (2013).



**Figura 67** – Comparação das projeções (até 2100) das anomalias da temperatura superficial global, conforme modelo atual (CMIP6) e anterior (CMIP5). Fonte: Tebaldi et al. (2021).

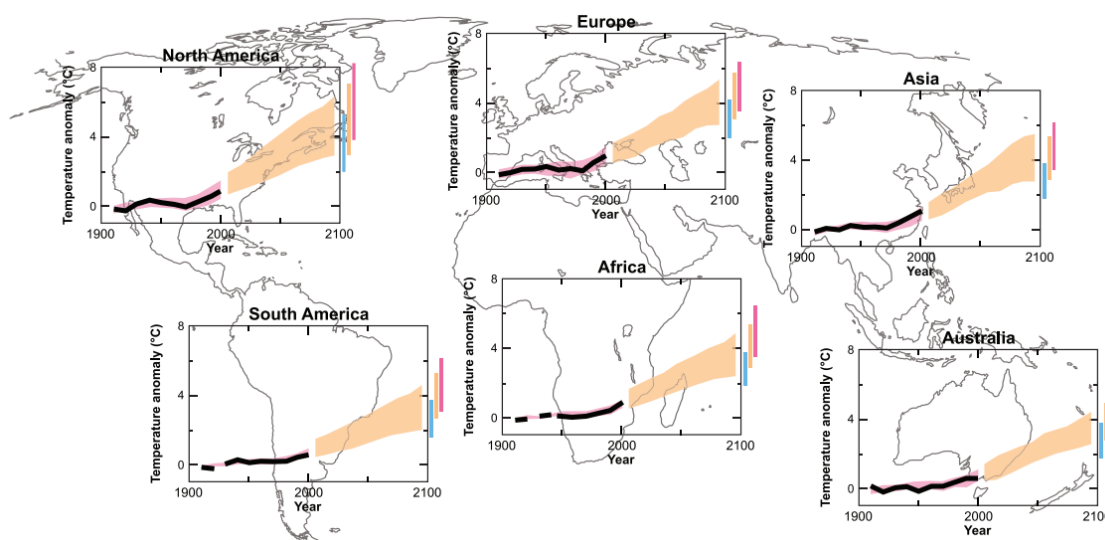
### 3.1.2.1.2 América do Sul

Além de apresentar projeções para a escala global [**Figura 68-(A)**], Fan et al. (2020) apresentam um recorte para a América do Sul [**Figura 68-(B)**]. Ambas projeções, apesar de visualmente parecidas, possuem discretas diferenças nas tendências (conforme indicado nas figuras).

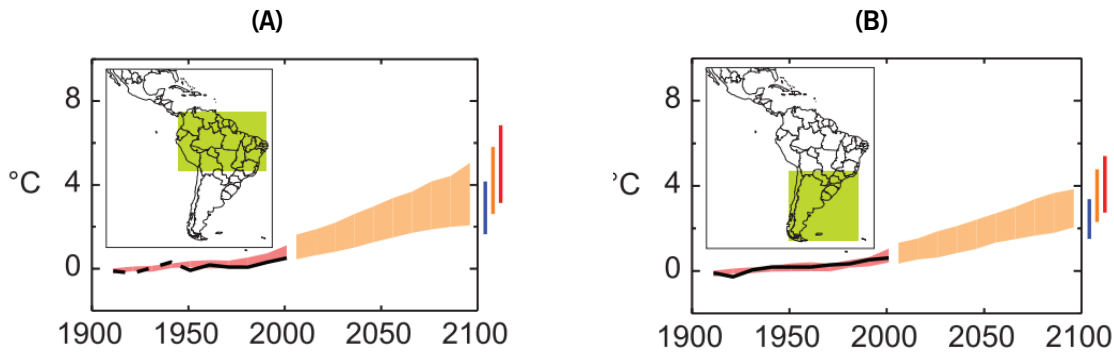


**Figura 68** – Observações das anomalias da temperatura superficial global (linha preta) e projeções até 2100 (linhas coloridas), conforme modelo CMIP6, para **(A)** escala global e **(B)** escala regional da América do Sul. Estão indicados, na mesma cor, os valores das tendências seculares às respectivas projeções. Fonte: Fan et al. (2020).

Outra representação comparativa entre regiões do mundo é apresentada na **Figura 69**. De modo geral, percebe-se que a variação das projeções dadas pelo IPCC em seu quarto relatório (AR4) possui tendências menores na América do Sul (aumento de 2 °C a 4 °C até 2100) em relação às diferentes regiões do Hemisfério Norte (aumento de 3 °C a 6 °C até 2100). Projeções para duas regiões específicas da América do Sul (Amazônia e Sul da América do Sul) são apresentadas na **Figura 70**.

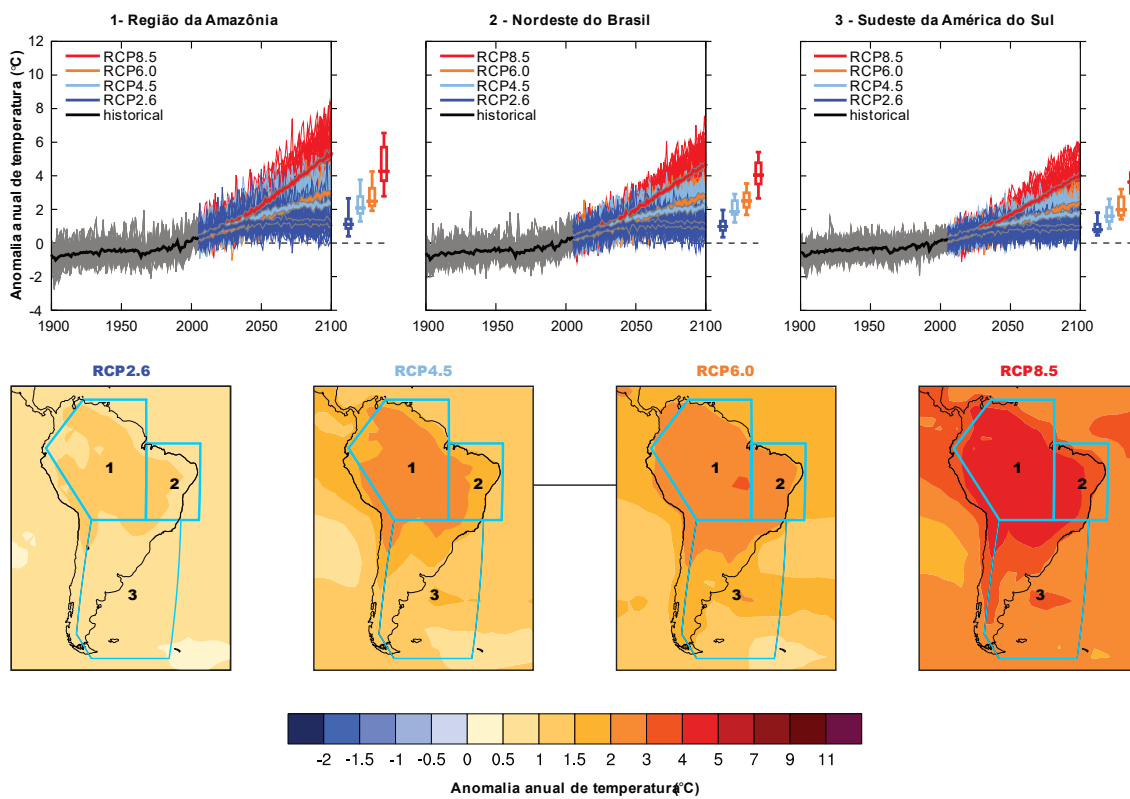


**Figura 69** – Observações das anomalias de temperatura (linhas pretas) e projeções (áreas vermelho claro) conforme relatório AR4 do IPCC. Fonte: Christensen et al. (2007), p. 858.



**Figura 70** – Anomalias de temperatura para duas regiões da América do Sul **(A)** Amazônia e **(B)** Sul da América do Sul, conforme observações (linha preta) e conforme simulado por modelos (cenário A1B, área vermelho claro), com projeções para 2100 (área laranja claro). A linha preta é tracejada quando as observações estão presentes em menos de 50% da área na década em questão. Gráficos do AR4 do IPCC. Fonte: Christensen et al. (2007), p. 894.

O quinto relatório (AR5) do IPCC apresentou gráficos com melhores resoluções temporais para sub-regiões dos continentes, incluindo áreas que contemplam o território brasileiro (**Figura 71**). Pelas projeções apresentadas, nota-se que a região amazônica apresenta projeções com maiores tendências de aquecimento, seguida pelo nordeste brasileiro e pelo sudeste da América do Sul.



**Figura 71** – Anomalias de temperatura conforme sub-regiões da América do sul (Amazônia, nordeste do Brasil e sudeste da América do Sul). Gráficos superiores: observações (linha preta) e diferentes projeções (linhas coloridas, conforme 4 cenários de emissões RCP). Mapas inferiores indicando as regiões correspondentes aos gráficos, bem como a distribuição espacial das anomalias, conforme os 4 cenários de emissões RCP. Fonte: elaborado com base em Oldenborgh et al. (2013a, 2013b, 2013c e 2013d), p. 56 e 64.

### 3.1.2.1.3 Brasil

Quando se trata de abordar a escala regional, especificamente a região do Brasil, existe certa dificuldade em encontrar referências que atendam à necessidade. Isto é, são escassos os trabalhos que buscam apresentar projeções da temperatura superficial no Brasil em termos de série temporal (gráfico de linhas). Nesse sentido, primeiramente recorreu-se às publicações contidas no *site*<sup>134</sup> do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC), organização brasileira equivalente ao IPCC, painel intergovernamental.

A primeira obra analisada, “Primeira Comunicação Nacional do Brasil” (BRASIL, 2004), abordou extensivamente inventários de emissões de GEEs. Em breves considerações sobre “Modelagem Regional de Mudança Global do Clima”, foi afirmado que:

Em muitas regiões do país, ainda não há um sinal claro de que a mudança do clima já esteja ocorrendo, especialmente em relação à temperatura média do ar e aos padrões de precipitação.

(...)

Ainda não é sabido se essas tendências negativas de longo prazo são manifestações naturais da variabilidade climática ou se são causadas por atividades antrópicas.

(...)

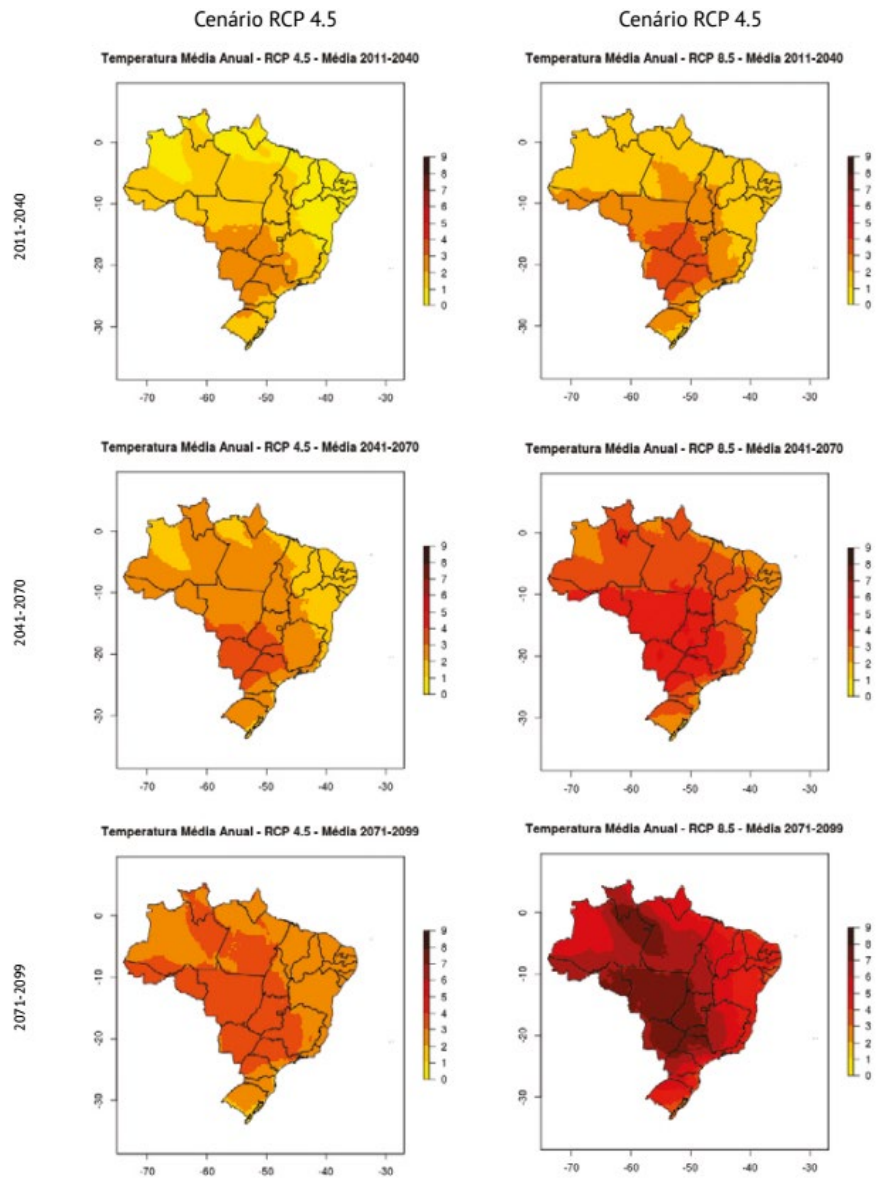
Portanto, é de fundamental importância desenvolver capacidade de modelagem climática no Brasil, por meio da análise de modelos globais e regionais para cenários atuais e futuros da mudança do clima. BRASIL (2004, p. 228 e 229).

A retrocitada obra contemplou diversos outros temas, entre eles políticas públicas sobre mudanças climáticas. Apesar da limitada abordagem sobre as bases físicas das mudanças climáticas, o texto foi útil por citar uma referência (HULME; SHEAR, 1999) relativamente antiga, que será apreciada adiante.

A “Segunda Comunicação Nacional do Brasil” (BRASIL, 2010), uma versão ampliada da primeira comunicação, adotou praticamente a mesma abordagem anterior, todavia, agregou algumas representações de anomalias de temperaturas na forma de mapas. Por fim, a “Terceira Comunicação Nacional do Brasil” (BRASIL, 2016a) somente teve a diferença de apresentar uma maior quantidade de mapas de anomalias de temperaturas projetadas, apresentando suas típicas colorações laranjas e vermelhas<sup>135</sup>, conforme ilustrado na **Figura 72**.

<sup>134</sup> <http://www.pbmc.coppe.ufrj.br/>

<sup>135</sup> É incrível notar uma nítida discrepância na abordagem de representações ilustrativas adotadas em estudos nacionais, que parecem ir contra a tendência das práticas observadas no restante do mundo. Diversos documentos brasileiros – não somente os aqui considerados, mas também



**Figura 72** – Distribuição espacial do incremento de anomalias/desvios de temperatura, conforme os cenários RCP 4.5 (mapas à esquerda) e RCP 8.5 (mapas à direita), para períodos futuros (2011-2040, 2041-2070, 2071-2099). Fonte: BRASIL, 2016a.

Dando continuidade à pesquisa de documentos contidos no *site* do PBMC, foi analisada a publicação intitulada “Riscos das Mudanças Climáticas no Brasil” (MARENGO et al., 2011). Nela, sobre a evolução da temperatura (observação e projeções), são apresentados

---

publicações recentes como Avila-Diaz et al. (2020) e Santos et al. (2020) – parecem preferir o uso de mapas coloridos em tons “quentes” (amarelo/laranja/vermelho), em detrimento da apresentação de gráficos de linhas, que permitem melhor comparação de projeções. A representação das anomalias de temperatura por meio de mapas coloridos, por um lado, pode até permitir visualizar certas diferenças regionais; por outro lado, dificulta uma visão holística e sintética nacional, bem como prejudica uma comparação quantitativa imediata entre as projeções dos modelos. Os mapas favorecem uma interpretação mais qualitativa do tipo “essa região pode ficar mais quente do que aquela outra região”. Já os gráficos permitem, com a evolução de suas linhas, quantificar e comparar a proporção das diferenças entre os valores das projeções. Outro fator importante se diz respeito ao grau de incerteza associado aos resultados dos modelos. Na representação em mapas, inexistente qualquer tipo de exibição da margem de erro e/ou intervalos de confiança, aspecto este que é fácil e habitualmente representado em gráficos de linhas.

dados textuais, conforme exibido na **Tabela 5**. Com base em modelo regional do INPE, foi indicada a projeção de aquecimento mais rápido no Brasil em comparação com a média global. O mesmo documento afirmou que o Brasil teve um aquecimento de cerca de 0,7 °C nos últimos cinquenta anos. Boa parte do trabalho foi focado na análise da região amazônica, com anomalias de temperaturas sendo representadas em gráficos de projeções e em mapas de distribuição espacial (semelhante ao apresentado na **Figura 72**). Enfim, para os propósitos aqui desejados, a publicação não atendeu ao requisito de oferecimento de uma série das temperaturas do ar no Brasil e suas projeções futuras.

**Tabela 5** – Temperaturas projetadas para 2080 no Brasil, relativas ao período de 1961-1990, e associadas a diferentes níveis de aquecimento global.

ALTERAÇÃO NA TEMPERATURA MÉDIA ANUAL (°C) <sup>(1)</sup>	
Global	Brasil
+6,2	+7,7
+4,8	+6,0
+1,8	+2,0

<sup>(1)</sup> Para as projeções foram considerados os cenários de emissões SRES A1F1, A1B e B1 do IPCC.  
Fonte: elaborado a partir de MARENGO et al., 2011, p. 15 e 42.

Em seguida, verificou-se que o “Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima” (BRASIL, 2016b), tal como as retrocitadas Comunicações, também apresentou representações limitadas somente a mapas de com projeções das anomalias de temperatura.

Por último, deixou-se para analisar os “Relatórios do PBMC”<sup>136</sup>, que são equivalentes aos Relatórios do IPCC. O “Primeiro Relatório de Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas (RAN1)” adotou a mesma estrutura dos relatórios do IPCC, de três volumes, sendo: I. Base Científica das Mudanças Climáticas; II. Impactos, Vulnerabilidades e Adaptação; e III. Mitigação das Mudanças Climáticas. Ainda. Cada volume possui um respectivo documento-resumo, denominado “Sumário Executivo”. Sobre o que é de interesse aqui, destaca-se trechos do Volume I do RAN1 (AMBRIZZI; ARAUJO, 2015):

As análises de variabilidade interdecenal e/ou mudanças climáticas no Brasil têm usado, em geral, séries curtas de observações e com descontinuidades provocadas por vários motivos. O problema principal destas análises reside no fato de que as tendências, qualquer que seja a metodologia utilizada, são muito sensíveis ao período utilizado, dando lugar a resultados

<sup>136</sup> <http://www.pbmc.coppe.ufrj.br/index.php/pt/publicacoes/relatorios-pbmc>

geralmente não conclusivos e com pouca confiabilidade de representar mudanças climáticas. Não é possível separar com confiança as variações naturais das antrópicas na maioria dos resultados apresentados (AMBRIZZI; ARAUJO, 2015, p. 39).

(...)

A avaliação acurada de tendências de temperatura na América do Sul em escala decenal a multidecenal está bastante limitada pela disponibilidade de dados e sua distribuição espacial não homogênea. Além disso, o controle de qualidade de dados e os métodos de medidas aumentam as incertezas nas avaliações de tendências. Estas limitações são ainda mais críticas em regiões tropicais como a Amazônia e o Pantanal Matogrossense, onde a escassez de dados é um problema que persiste até hoje (e.g., Vincent et al., 2005). Devido a estas limitações, existem relativamente poucas publicações com dados históricos sobre mudanças de temperatura, incluindo extremos, na América do Sul (AMBRIZZI; ARAUJO, 2015, p. 43).

No Volume I do RAN1 (AMBRIZZI; ARAUJO, 2015) foram apresentados resultados de artigos que analisaram a evolução das temperaturas no Brasil de modo pontual (poucas cidades) ou regional (algumas dezenas de cidades), ou às vezes focando na região Amazônica<sup>137</sup>. Dos poucos gráficos de temperatura apresentados, nenhum possuía abrangência representativa nacional. Idem trabalhos anteriores, foi absoluta a apresentação de mapas de anomalias de temperaturas no RAN1.

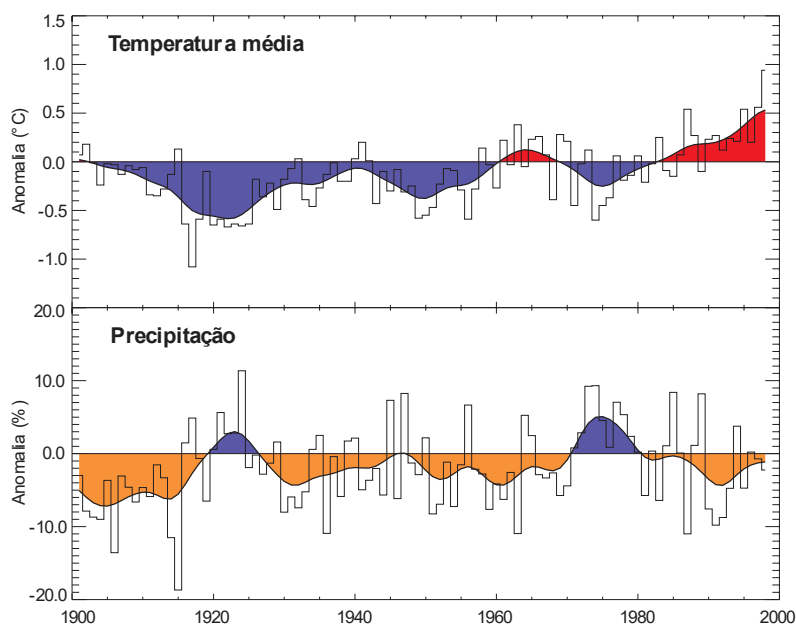
Frisa-se aqui um fato preocupante em termos de pesquisas climática no Brasil. Enquanto é extremamente fácil conseguir inúmeros gráficos de temperatura (observadas juntamente com as projetadas por modelos) na escala global, do hemisfério norte e da maioria dos países desenvolvidos, no Brasil ocorre o contrário: é realmente complicado encontrar séries de temperatura do ar representativas para o território nacional. Após certa insistência em buscas e pesquisas, foram encontradas somente três publicações. No primeiro e relativamente antigo trabalho, os autores Hulme e Shear (1999)<sup>138</sup> exibiram gráficos para anomalias de temperatura juntamente com as da precipitação (**Figura 73**) e gráficos para as observações e projeções da temperatura no mundo e no Brasil (**Figura 74**), com base em cenários SRES<sup>139</sup>.

<sup>137</sup> Para a Amazônia, uma recente publicação de Parsons (2020) apresenta projeção das temperaturas na forma de gráficos de linhas. A propósito, Marengo, Torres e Alves (2017) apresentam um gráfico contendo projeções de temperatura para a região Nordeste.

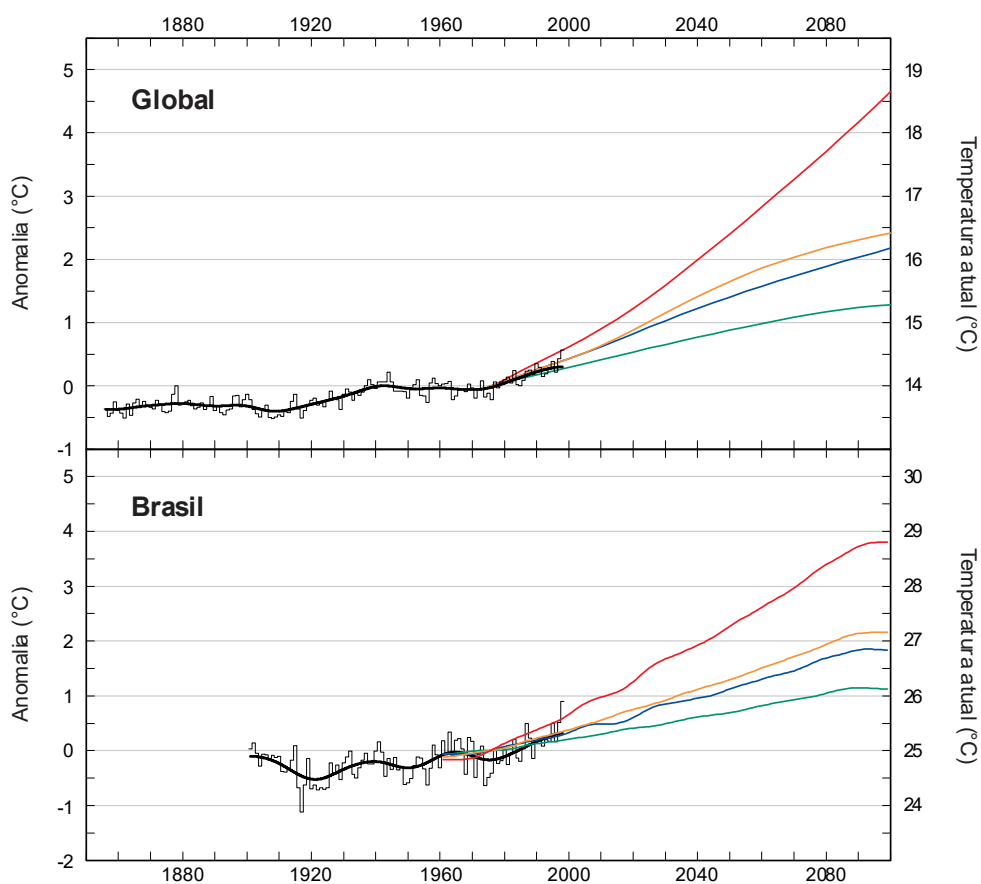
<sup>138</sup> Essa publicação, de mais de 20 anos atrás, não constava mais no *site* original e em nenhum outro lugar fácil de ser encontrado por buscas pela *Internet*. Somente foi possível resgatar o arquivo correspondente do documento por meio do *site* <https://archive.org/> - o qual, desde 1996, costuma realizar "cópias" de praticamente todo conteúdo que é publicado na *Internet*. Na referência consta o endereço completo do artigo arquivado.

<sup>139</sup> Os cenários de emissão *SRES* (*Special Report on Emissions Scenarios*), usados nos quatro primeiros relatórios do IPCC, são baseados em um conjunto de suposições "coerentes e fisicamente consistentes em seus forçamentos, como demografia, desenvolvimento socioeconômico e mudanças tecnológicas". O quinto relatório (AR5) do IPCC, de 2013, introduziu os novos cenários *RCP* (*Representative Concentration Pathways*), que adotam um sistema mais completo e levam em consideração os impactos das emissões, ou seja, quanto o balanço de radiação poderá ser mudado no sistema terrestre (SOARES; MARENGO; NOBRE, 2019).



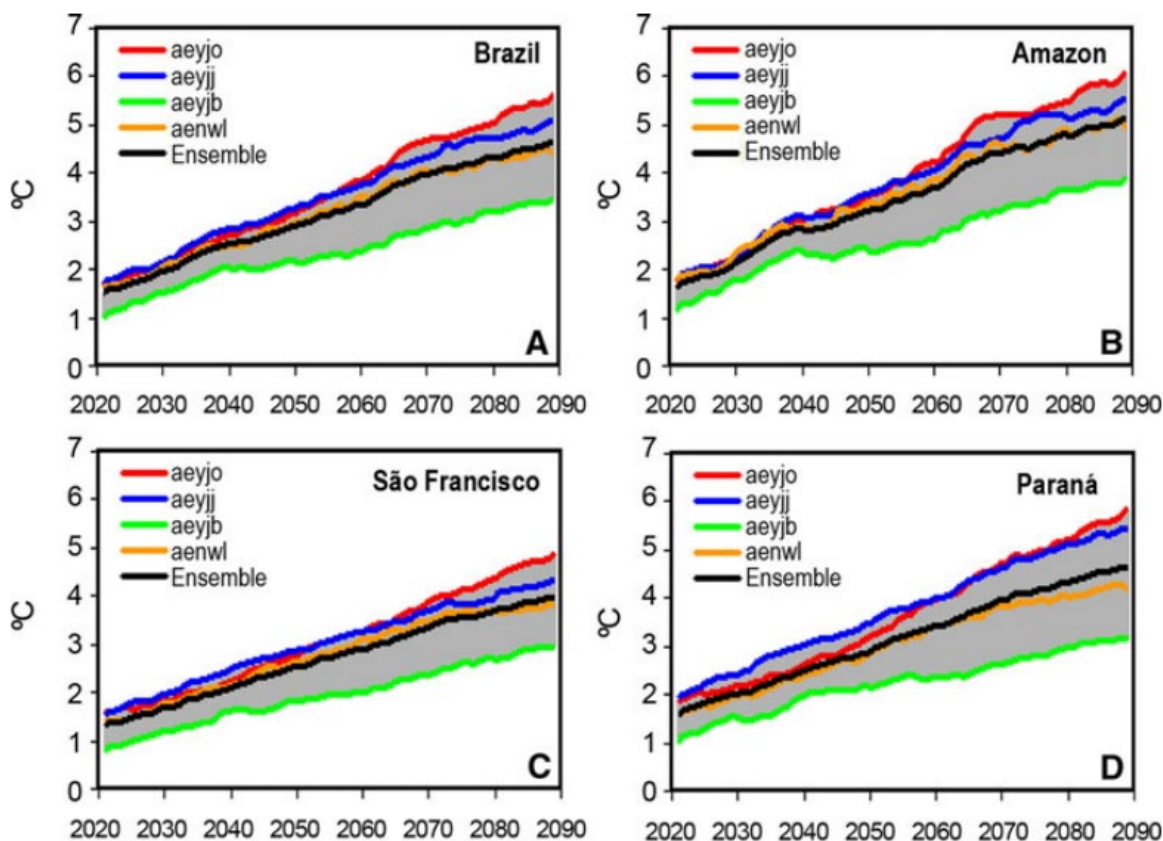


**Figura 73** – Variação da temperatura média anual, 1901-1998 (gráfico superior), e da precipitação anual, 1901-1998 (gráfico inferior), no Brasil. A variação é relativa às médias do período 1961-90 (com valores de 25,0 °C e 1780 mm, respectivamente). Fonte: adaptado de Hulme e Shear (1999).



**Figura 74** – Variações (1960-2100) da temperatura média anual do ar à superfície no nível global (gráfico superior) e para o Brasil (gráfico inferior). As anomalias observadas (barras e linhas em preto) e as projeções estimadas para quatro cenários SRES (B1, B2, A1 e A2) possuem valores em relação a 1998. Foi utilizado o modelo climático MAGICC. Fonte: Hulme e Shear (1999).

De forma mais simplificada, Marengo et al. (2012) apresentam projeções de anomalias de temperatura para o Brasil e para as Bacias da Amazônia, do São Francisco e do Paraná (**Figura 75**). Nota-se que a figura original não possui uma qualidade tão apropriada e suavizada nas linhas, mas permite uma noção razoavelmente satisfatória das tendências gerais das projeções.

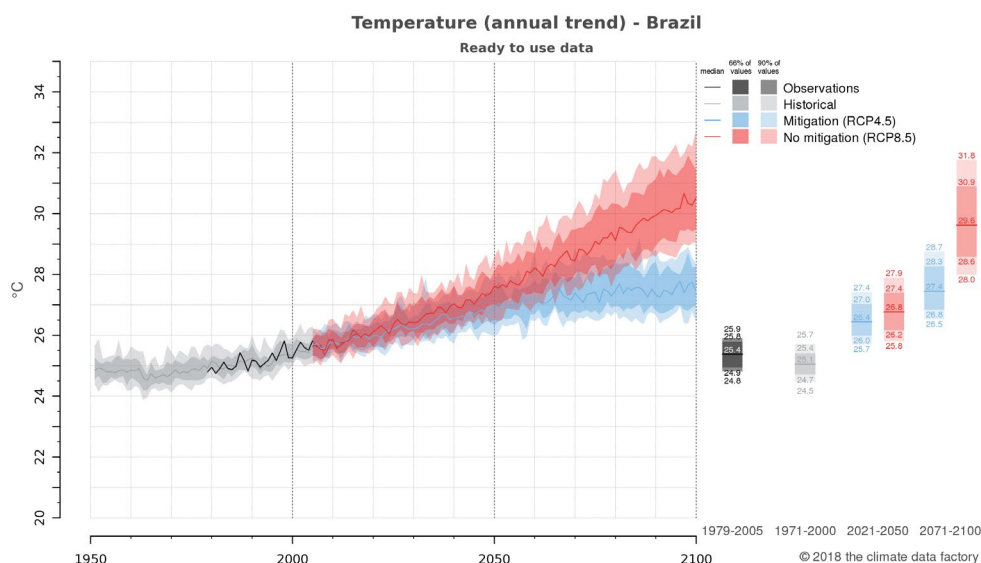


**Figura 75** – Séries temporais de anomalias da temperatura do ar para 2020–2090 para as regiões de estudo: (A) Brasil e Bacias da (B) Amazônia, do (C) São Francisco e do (D) Paraná. As linhas das projeções individuais (identificadas por cores) foram suavizadas usando uma média móvel de 20 anos. O modelo utilizado nas projeções foi o HadCM3, com cenários de emissões SRES A1B. Fonte: Marengo et al. (2012).

A terceira referência contendo projeção de anomalias de temperatura para o Brasil foi obtida no *site*<sup>140</sup> denominado *The Climate Data Factory*. Houve contato com o responsável pelo *site*, Harilaos Loukos, o qual gentilmente concedeu, como cortesia, o uso da imagem que está exibida na **Figura 76**, na qual constam dois cenários RCP<sup>141</sup> (4.5 e 8.5).

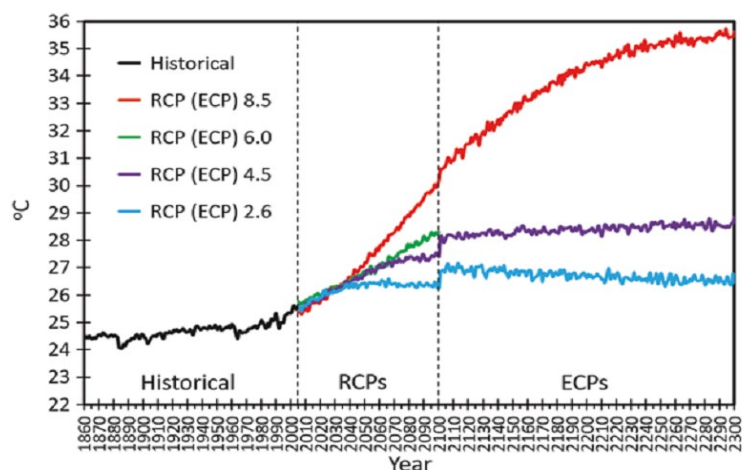
<sup>140</sup> <https://thelimatedatafactory.com/>

<sup>141</sup> Ver nota de rodapé nº 139.



**Figura 76** – Variações (1950-2100) da temperatura média anual do ar à superfície para o Brasil. Linha preta e áreas cinzas: observações históricas das anomalias. Projeções de anomalias estimadas para dois cenários: RCP4.5 (linha e área sombreada azuis) e RCP8.5 (linha e área sombreada vermelhas). Fonte: cortesia de The Climate Data Factory (2018).

Por fim, em Soares, Marengo e Nobre (2019), referência mais atual encontrada, constam projeções de temperaturas do ar no Brasil (**Figura 77**) conforme quatro cenários RCP (projeções até o ano 2100) e ECP<sup>142</sup> (projeções até 2300). Os autores afirmam que, para o cenário mais pessimista (RCP8.5), o Brasil apresenta 100% de probabilidade de sofrer aumentos de temperatura superiores a 4 °C até o final deste século. Para um aquecimento mais extremo, de 7 °C, a probabilidade é de 80% até 2.200.

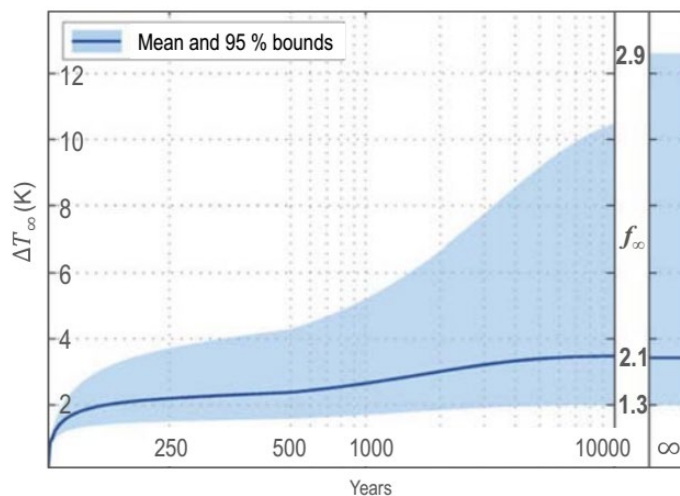


**Figura 77** – Série temporal de temperaturas médias anuais próximas à superfície no Brasil, período 1860-2300. Cada linha representa a média das saídas das simulações para cada cenário RCP. Observações: período histórico (linha preta), de 1860 a 2005; Projeções: RCPs (até 2100) e ECPs até 2300 – cenários 8.5, 6.0, 4.5 e 2.6 (linhas vermelha, verde, roxa e azul). Por motivo não mencionado, os autores não apresentaram a projeção ECP 6.0, correspondente à projeção RCP 6.0 (linha verde). Fonte: Soares, Marengo e Nobre (2019).

<sup>142</sup> O cenário ECP (Extended Concentration Pathway) é mera extensão do cenários RCP (SOARES; MARENGO; NOBRE, 2019). Ver também nota de rodapé nº 139.

### 3.1.2.2. Observações e projeções alternativas

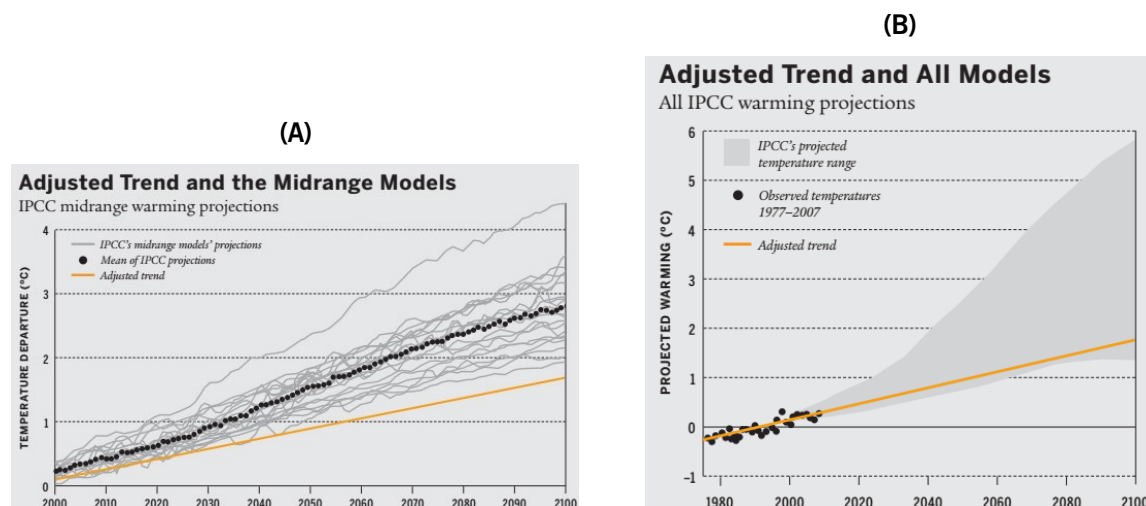
Alternativamente às projeções típicas do IPCC, em que as tendências exibem comportamento exponencial em diferentes taxas, alguns trabalhos apresentam outras possibilidades para o futuro das temperaturas globais. Em Monckton et al. (2015a, 2016b), os autores se propõem a apresentar um modelo de sensibilidade ao clima irredutivelmente simples, projetado para capacitar até mesmo não especialistas a pesquisar a questão de quanto aquecimento global é possível ser causado pelas emissões antropogênicas. Com base em um modelo de sensibilidade climática simples, mas fortemente calibrado, o estudo chega à conclusão de que o impacto do aquecimento global antropogênico ao longo do próximo século (e até daqui a muitos milênios) pode ser cerca de um terço a metade das projeções atuais do IPCC. Assim, o aquecimento global neste século seria menor que 1 °C, e mesmo a combustão de todos os combustíveis fósseis recuperáveis causaria um equilíbrio do aquecimento global na faixa dos 2,2 °C (**Figura 78**) – e não os 12 °C imaginados pelo IPCC no cenário seu pior cenário (RCP 8.5).



**Figura 78** – Evolução temporal da distribuição de probabilidade de estados climáticos futuros, gerada por um modelo climático simples. A linha escura mostra a evolução temporal do estado com a sensibilidade média, flanqueada pelo intervalo de confiança de 95% (região azul). O painel direito indica a distribuição de probabilidade do equilíbrio da sensibilidade climática. Fonte: Monckton et al. (2015a).

Considerando que há um aquecimento não climático significativo (oriundo do aquecimento das ilhas de calor urbanas) nos registros globais de temperatura da superfície da terra, Michaels (2008) determinou que até metade do aquecimento da superfície continental que foi detectado nas últimas décadas pode ser espúrio. Com base nessa premissa, o autor realizou correções e ajustes nos registros de temperatura para remover tal efeito urbano.

Consequentemente, sugeri que o aquecimento do séc. 21 poderá em torno de 1,4 °C, o que está na extremidade inferior da faixa de projeções atualmente fornecidas pelo IPCC (**Figura 79**).



**Figura 79** – Modelo alternativo propondo tendências (até 2100) de aquecimento mais brando do que as projeções realizadas pelo IPCC. **(A)** Modelos de intervalos médios do IPCC (linhas cinzas) com receptiva média das projeções (pontos pretos), e proposta de tendência menor (reta laranja); **(B)** Observações de anomalias de temperatura (pontos pretos); intervalo das projeções do IPCC (área cinza) e tendência sugerida (reta laranja). Fonte: Michaels (2008).

Além das anteriormente citadas publicações que apresentaram alternativas aos modelos exponenciais do IPCC, existe uma classe de modelos, ajustes e projeções que agregam a ocorrência de oscilações nas temperaturas globais. Diante da predominância dos difundidos modelos, de caráter exponencial, adotados pelo IPCC, houve um caminho relativamente tortuoso até surgirem os modelos cíclicos incorporadores dos aspectos periódicos do clima. O “hiato no aquecimento global”, recente evento climático inusitado, inicialmente visto como “inesperado”, foi um dos grandes motivadores da história de reconhecimento da influência de fatores naturais oscilatórios no clima terrestre.

### 3.2. NOVA PERSPECTIVA AO RECENTE AQUECIMENTO GLOBAL

Ao tentar reproduzir a realidade, pressupõe-se que um modelo, por meio de idealizações e simplificações, tenha suas simulações e previsões relativamente consistentes com as observações reais. Caso contrário, o modelo demonstra-se inadequado e, sem os ajustes necessários, pode ser definitivamente invalidado, refutando suas premissas e hipóteses subjacentes. Portanto, a comparação entre simulações e observações e a identificação de eventuais descompassos entre ambos constituem, portanto, uma tarefa muito importante na pesquisa climática.

Recentemente, alguns cientistas têm reconhecido que o clima possui flutuações e que o aumento linear do CO<sub>2</sub> não produz, exata e proporcionalmente, tendências lineares no aquecimento global. Logo, são fortes os indícios de não seja tão realista a hipótese da simples relação diretamente proporcional entre GEEs e a temperatura terrestre, conforme é difusa e insistentemente preconizado. Adiante, será demonstrado que começa-se, cada vez mais, a admitir que causas naturais, cujas influências foram negligenciadas anteriormente, representam, sim, grandes forças determinantes nas variações do clima.

Ao longo das últimas duas décadas, as temperaturas superficiais terrestres resultantes de modelos têm mostrado um aumento maior do que as temperaturas registradas na vida real. A taxa de aquecimento observado no período de 1998 a 2012 foi praticamente nula, e significativamente menor do que esperado segundo os modelos climáticos da época. Esse intervalo em que não houve aumento da temperatura superficial média global ficou conhecido como *pausa*, *estagnação*, *estabilização*, *desaceleração*, *interrupção* ou *hiato do aquecimento global*. Cabe brevemente relatar como a permanência do hiato causou nos cientistas climáticos e seus resultados publicados em artigos, gradativamente, um processo que passou da negação para a aceitação, seguida por possíveis explicações.

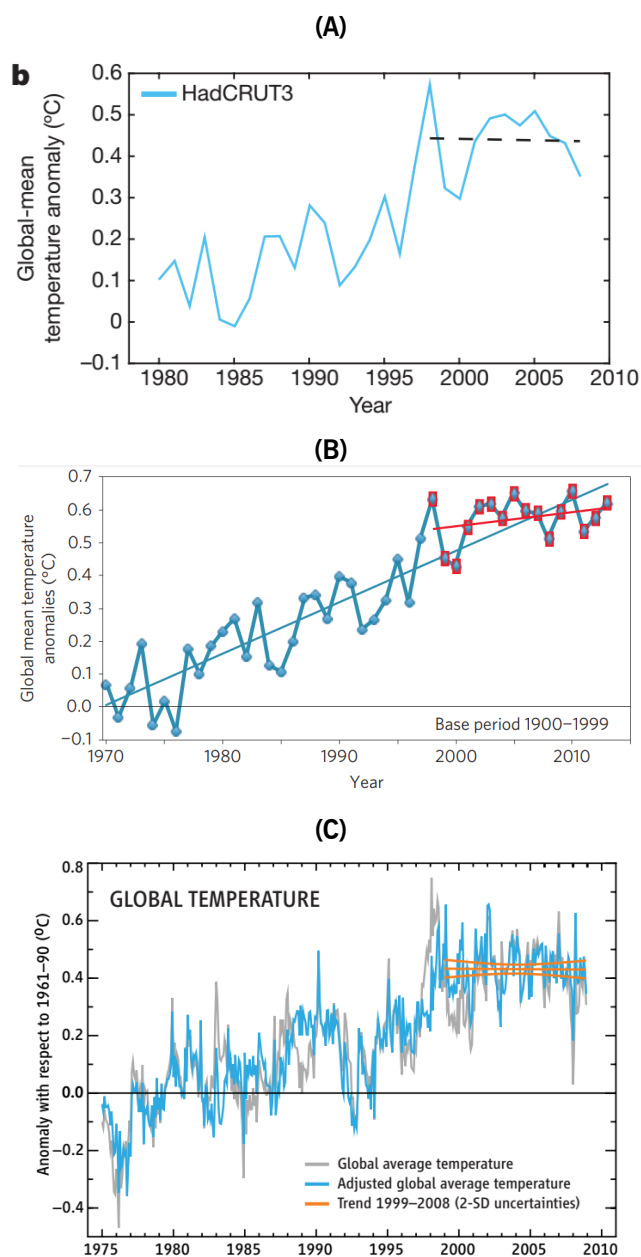
Primeiro, é importante ter em mente o tamanho da inconsistência entre o aquecimento global observado e o esperado (simulado). É impressionante constatar que, ao longo de 1998 a 2012, a tendência observada de  $0,05 \pm 0,08$  °C por década foi quatro vezes menor do que a tendência média simulada de  $0,21 \pm 0,03$  °C por década (FYFE; GILLET; ZWIERS, 2013). Para tal discrepância, uma variedade de mecanismos de têm sido propostos para explicar a desaceleração observada no aquecimento.

Para entender o que está acontecendo, é fundamental perceber que o clima muda por uma série de razões além do CO<sub>2</sub> e de outros GEEs. Além da contribuição das emissões antropogênicas de aerossóis, o clima na Terra também muda como resultado de fatores naturais como variações solares, erupções vulcânicas e de flutuações naturais oceânicas, como a Oscilação Decadal do Pacífico (ODP) e a Oscilação Multidecadal do Atlântico (OMA).

### 3.2.1. O “hiato no aquecimento global” de 1998-2012

As temperaturas da superfície global estavam aumentando constantemente no período de 1975 a 1998. Mas, conforme ilustrado nos gráficos da **Figura 80**, a partir de 1998 esse crescimento desacelerou um pouco por cerca de 15 anos – um evento que ganhou a atenção popular e ficou conhecido como um “hiato”, “pausa” ou “desaceleração” no aquecimento global.

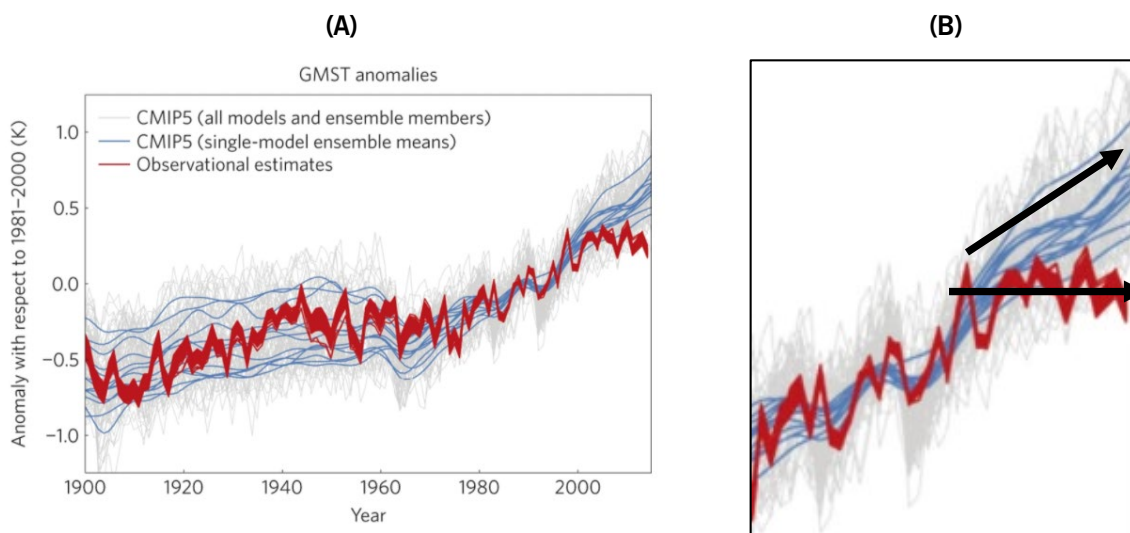
O “hiato do aquecimento global” geralmente se refere ao período que começa por volta de 1998 e termina por volta de 2012, durante o qual a média anual da temperatura global não pareceu aumentar tanto quanto era esperado com o aumento das concentrações atmosféricas de GEEs.



**Figura 80** – Representações gráficas do “hiato” ou “pausa” do aquecimento global, segundo diversas fontes. **(A)** Temperatura global da superfície, a partir da série de dados HadCRUT3, até o final de 2008 (linha azul claro) junto com a tendência linear de 1998–2008 (linha tracejada preta). **(B)** Temperatura média global da superfície a partir da série do NOAA, como anomalias em relação ao período 1900–1999 plotadas com tendências lineares para 1970–2013 (azul) e 1998–2013 (vermelho). **(C)** Linha cinza: anomalias de temperatura média global (em relação a 1961-1990); Linha azul: anomalias de temperatura média global após subtrair o efeito do ENOS; Linha vermelha: tendência de temperatura de 1999-2008. Fontes: (A) Medhaug et al. (2017); (B) Trenberth (2014); (C) Kerr (2009).

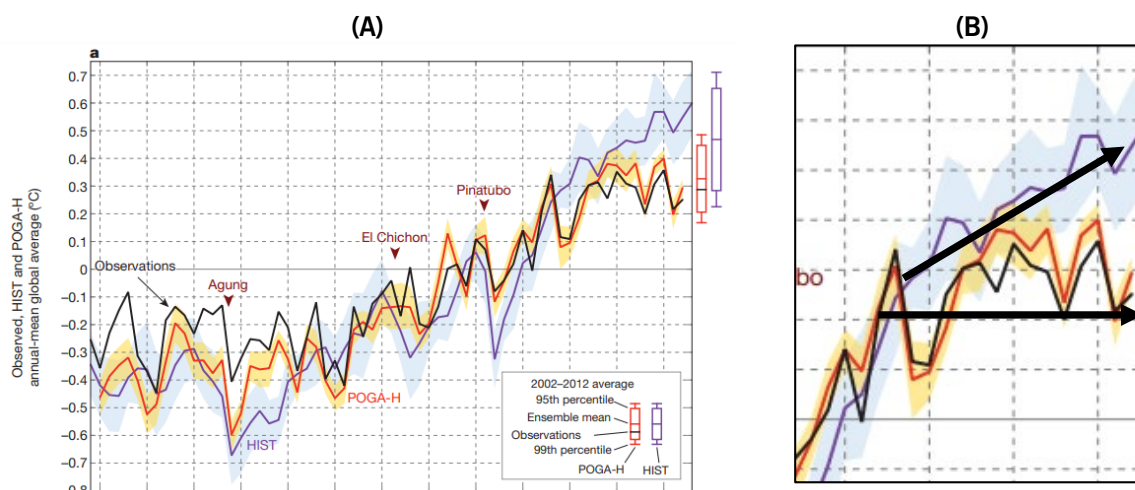
Conforme relatado por Medhaug et al. (2017), o histórico do caso hiato começou em 2006, quando surgiram as primeiras alegações por vezes da comunidade científica de que “o aquecimento global parou em 1998” (CARTER, 2006). O tópico circulou como um argumento “cético” na *blogosfera* por alguns anos. Numerosos *sites*, *blogs* e artigos na mídia começaram a afirmar que o clima não estava mais esquentando, pelo contrário, ele estaria esfriando (EASTERLING; WEHNER, 2009). Observando que a temperatura média global permanecia estável nos últimos 10 anos (1998-2008), artigos (de 2009 e 2010) até chegaram a questionar “o que aconteceu com o aquecimento global?” e “o aquecimento global faz uma pausa na última década: 1999-2008?”. Contudo, até cerca de 2013, apenas poucos cientistas haviam publicado que as tendências observadas da temperatura média global de curto prazo eram anormalmente baixas e se desviavam do conjunto de modelos climáticos (**Figura 81** e **Figura 82**). Ou seja, a temperatura média global da superfície não aumentava tão rapidamente quanto previsto pelos modelos climáticos globais gerava uma discrepância incômoda, que era até então difícil de ser explicada pelos cientistas do clima.

Conforme indicado na **Figura 83-(A)**, de 1998-2012 já era notória a relativa persistência de tendência de redução das anomalias de temperatura (“desaceleração do aquecimento global”) de diversas séries mundiais da temperatura do ar, com a anomalia média que partiu de  $+0,25$  °C, em 1998, e reduziu até atingir o valor zero em 2012.

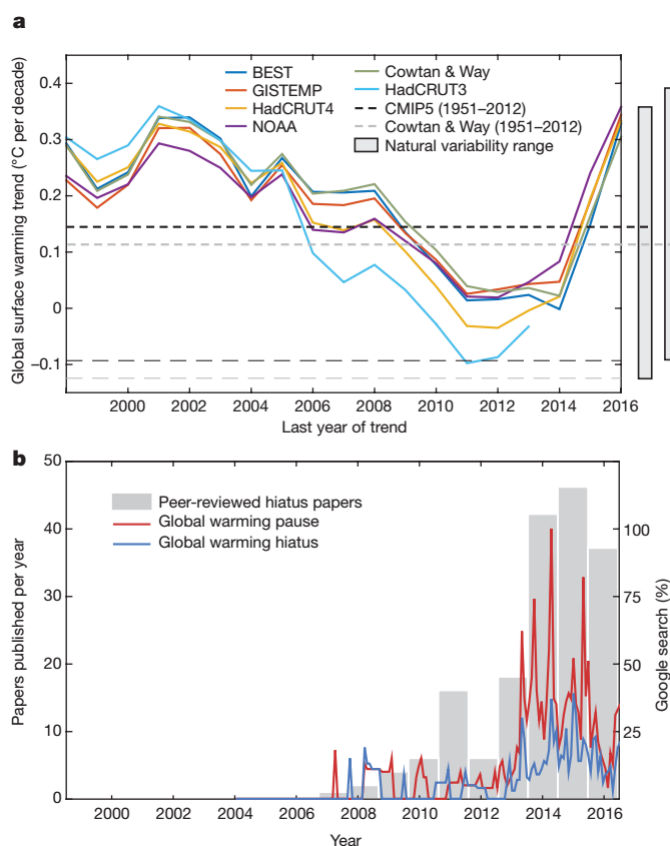


**Figura 81** – Anomalia da temperatura superficial média global observada e simulada. Linha vermelha: conjuntos de dados observacionais; linhas cinzas: membros de conjunto de cenário histórico CMIP5 e RCP4.5; linhas azuis: conjunto de modelo único suavizado. **(A)** Série completa, de 1900-2015; **(B)** recorte de 1990-2015, com seta inclinada indicando tendência de aquecimento das simulações; e seta horizontal indicando o hiato nas observações. Fonte: adaptado de Roberts et al. (2015)





**Figura 82** – Tendências de temperatura global observadas e simuladas. Séries temporais médias anuais baseadas em observações (linha preta) e em modelos (linha vermelha, série POGA-H; linha roxa, série HIST). Consultar referência original para mais detalhes. **(A)** Série completa, de 1950-2013; **(B)** Recorte de 1995-2015, com seta inclinada indicando tendência de aquecimento das simulações; e seta horizontal indicando o hiato nas observações. Fonte: adaptado de Kosaka e Xie (2013).



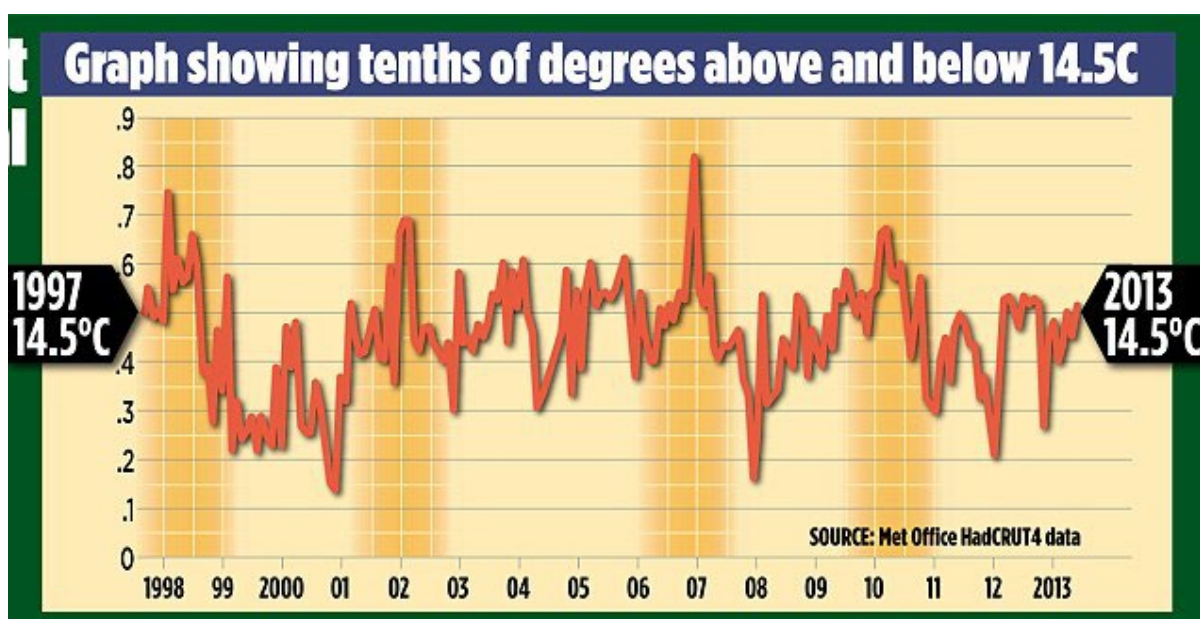
**Figura 83** – Magnitude e interesse no hiato. **(A)** Tendências de temperatura média global de 10 anos para diferentes conjuntos de dados observacionais (linhas coloridas). As linhas espessas tracejadas preta e cinza (parte central) indicam a variabilidade natural de simulações de controle de modelos CMIP5, com correspondentes intervalos de confiança nas barras cinza sombreadas (à direita). As linhas tracejadas finas (parte inferior) ilustram os limites inferiores da variabilidade natural em torno das tendências de longo prazo. **(B)** Artigos científicos publicados anualmente (histograma, colunas cinzas) até o final de 2016 que contribuíram para a compreensão do hiato (178 artigos no total) e buscas mensais nas tendências do Google para os critérios de pesquisa “pausa do aquecimento global” e “hiato do aquecimento global”. Fonte: Trenberth et al. (2014).

A partir de 2010, a “pausa” começava a despertar o interesse da grande mídia. Na **Tabela 6**, apresenta-se uma amostra de notícias em jornais de língua inglesa que circularam na *Internet*.

Tabela 6 – Notícias sobre a pausa no aquecimento global, publicadas em jornais de língua inglesa			
Data	Jornal	Título	Referência
05/dez/2010	<i>Daily Mail Online</i>	O que aconteceu com o 'ano mais quente já registrado': A verdade é que o aquecimento global parou	Rose (2010)
13/out/2012	<i>Daily Mail Online</i>	O aquecimento global parou há 16 anos, revela relatório do <i>Met Office</i> divulgado discretamente ... e aqui está o gráfico para provar isso	Rose (2012a)
15/out/2012	<i>The New American</i>	O aquecimento global do clima parou há 15 anos, admite o <i>UK Met Office</i>	Newman (2012)
20/out/2012	<i>Daily Mail Online</i>	As verdades REALMENTE inconvenientes sobre o aquecimento global. Na semana passada, revelamos de forma explosiva uma 'pausa' de 16 anos no aumento das temperaturas - desencadeando um amargo debate. Você decide quais são os fatos reais...	Rose (2012b)
13/jan/2013	<i>Daily Mail Online</i>	O aquecimento global parou há 16 anos, revela o relatório do <i>Met Office</i> . <i>Mail on Sunday</i> acertou sobre o aquecimento... então quem são os 'negadores' agora?	Rose (2013a)

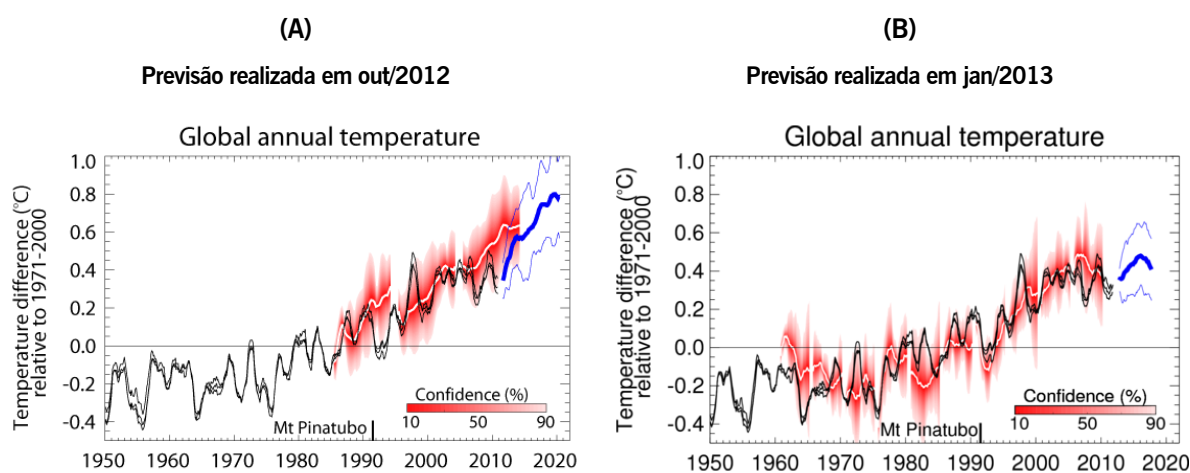
Fonte: elaboração própria.

Das notícias relacionadas, Rose (2012a, 2012b, 2013a) utilizou o gráfico apresentado na **Figura 84** como evidência da pausa no aquecimento global.



**Figura 84** – Gráfico revelando que, desde o início de 1997 até agosto de 2012, não houve aumento perceptível nas temperaturas globais. Fonte: Rose (2012a).

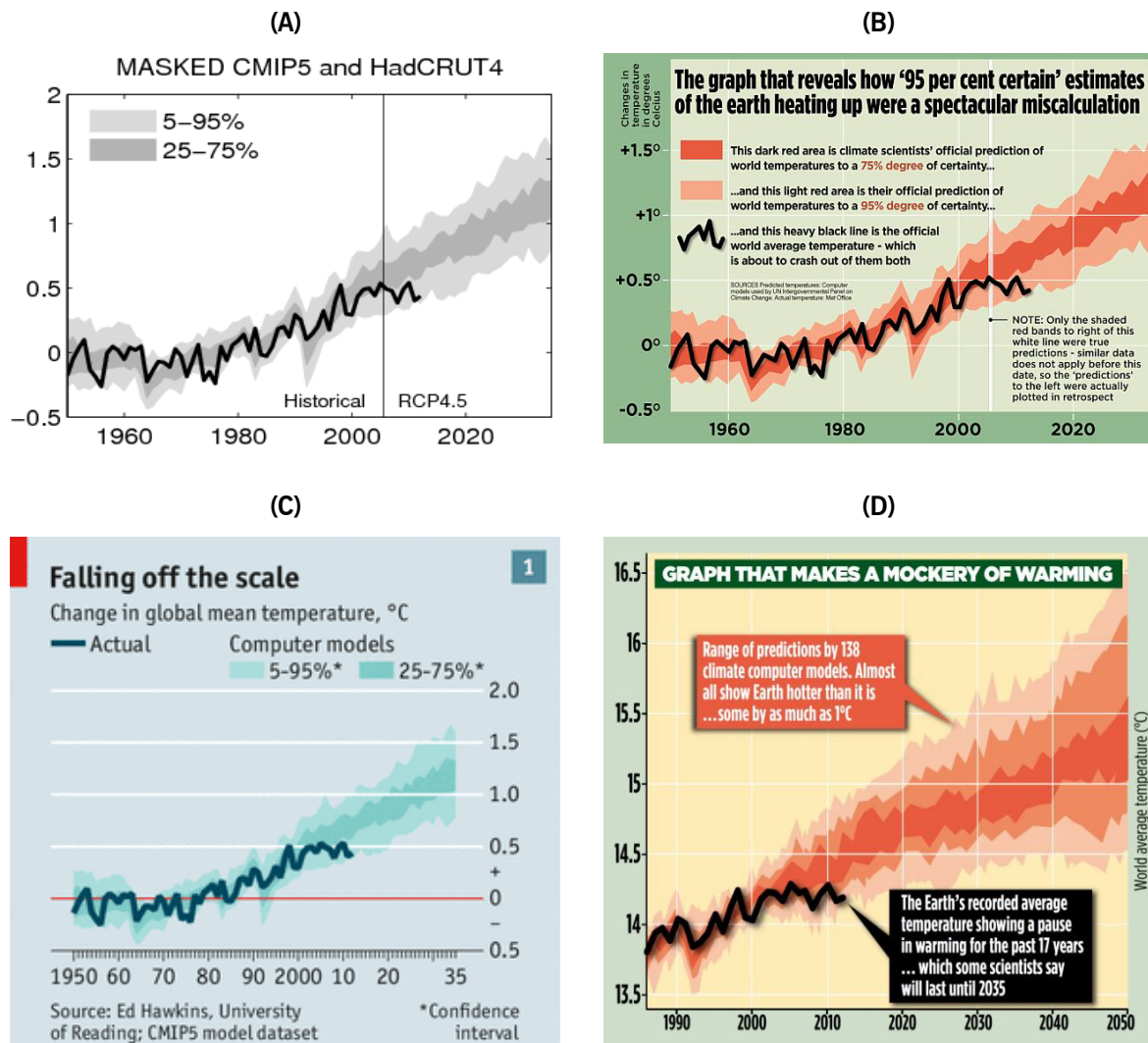
A enxurrada de notícias demonstra que, em 2012, houve um aumento significativo da visibilidade pública do fenômeno da “pausa do aquecimento global”. Nesse contexto, o *UK Met Office* (Escritório de Meteorologia do Reino Unido) publicou, no início de 2013, uma previsão [Figura 85-(B)] de uma década atualizada, diminuindo – pela metade, de 0,8 °C para 0,4 °C até 2020 – o aquecimento em relação à previsão anterior [Figura 85-(A)] do final de 2012, afirmando que as temperaturas poderiam não aumentar nos anos seguintes.



**Figura 85** – Observações e previsão de temperatura média global, conforme divulgado pelo *Met Office* (Reino Unido). Anomalias de temperatura (linhas pretas), previsões anteriores (linhas brancas), com sombreamento vermelho representando os limites de confiança, e previsão mais recente (linha azul espessa, com linhas azuis finas mostrando intervalo) para duas previsões: **(A)** Previsão realizada em out/2012, com projeção indicando temperaturas ascendentes; e **(B)** Previsão realizada em jan/2013, com projeção indicando temperaturas estáveis (“pausa”). Fonte: Met Office (2012, 2013).

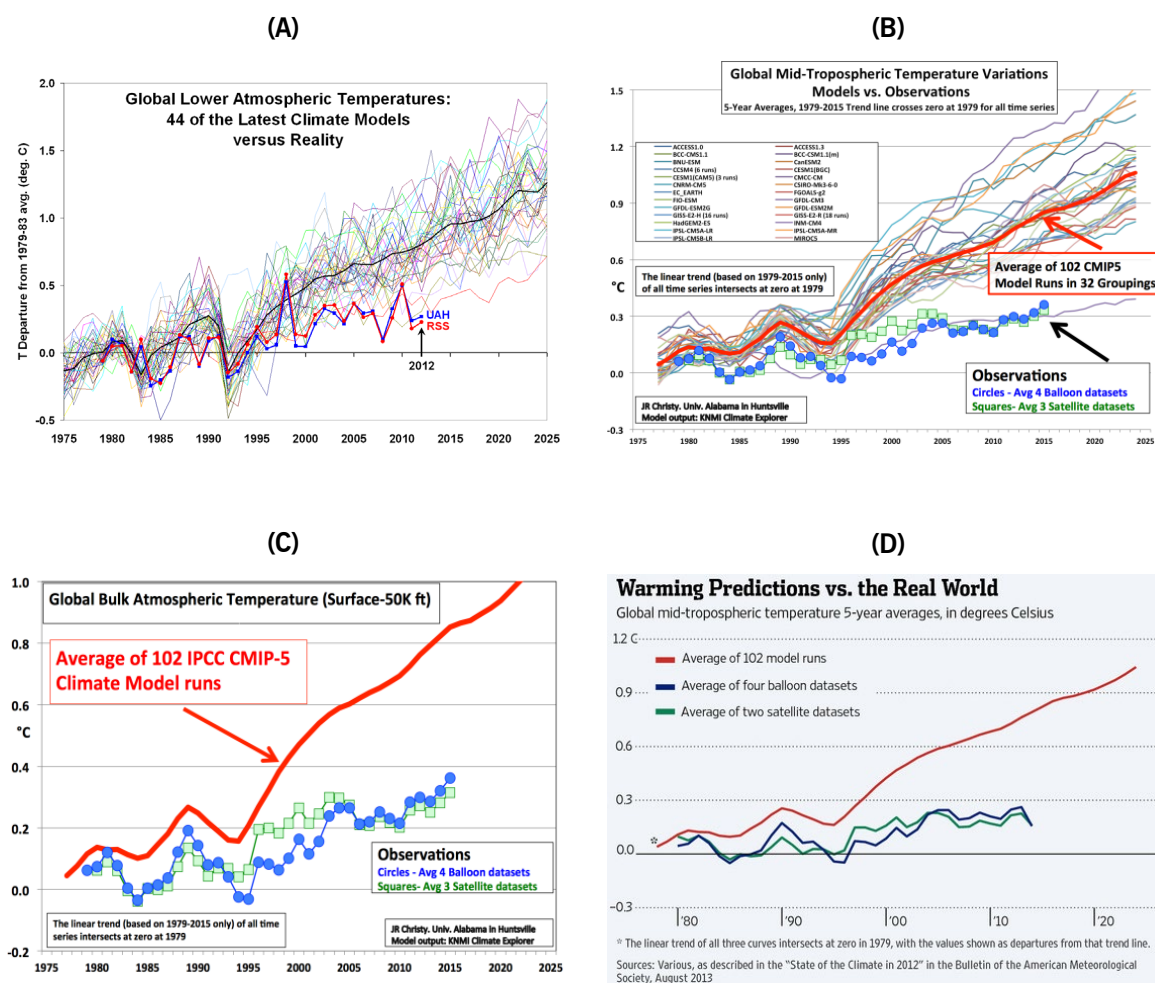
Logo após a atualização das previsões realizadas pelo *Met Office*, o pesquisador Dr. Ed Hawkins, da Universidade de Reading, Inglaterra, publicou em seu *blog* (HAWKINS, 2013), em fev/2013, um gráfico [Figura 86-(A)] indicando que as observações de temperatura estavam se aproximando do limite inferior do intervalo de confiança dos modelos, isto é, enquanto os modelos previam um crescente aquecimento, as temperaturas observadas estavam “pausadas”, não subiam conforme o previsto.

Assim, a partir do início de 2013, com base nas previsões atualizadas do *Met Office* e de Hawkins, alguns meios de comunicação divulgaram isso como se cientistas estivessem tentando “esconder a verdade” sobre a pausa do aquecimento global. O gráfico de Hawkins foi adaptado e utilizado por diversas notícias [gráficos (B), (C) e (D) da Figura 86].



**Figura 86** – Divergências entre temperaturas previstas por modelos (áreas em diferentes tons, indicando intervalos de confiança) em comparação com temperaturas observadas (linhas pretas grossas). (A) Gráfico original elaborado pelo Dr. Ed Hawkins; (B), (C) e (D) Gráficos reproduzidos, com adaptações, pelos jornais *Daily Mail Online* e *The Economist*. Fontes: (A) Hawkins (2013); (B) Rose (2013b); (C) *The Economist* (2013); (D) Rose (2013c).

Uma vez escancarada a discrepância entre observações e previsões da temperatura global, diversos *blogs* criaram comparações semelhantes às elaboradas pelo *Met Office* e por Hawkins. Na **Figura 87** [gráficos (A), (B) e (C)] apresenta-se uma amostra de comparações realizadas pelo Dr. Roy W. Spencer e Dr. John R. Christy, ambos pesquisadores da Universidade de Alabama em Huntsville (UAH), EUA. Os gráficos deles inspiraram a publicação de imagem semelhante em notícia no *Wall Street Journal* [Figura 87-(D)].

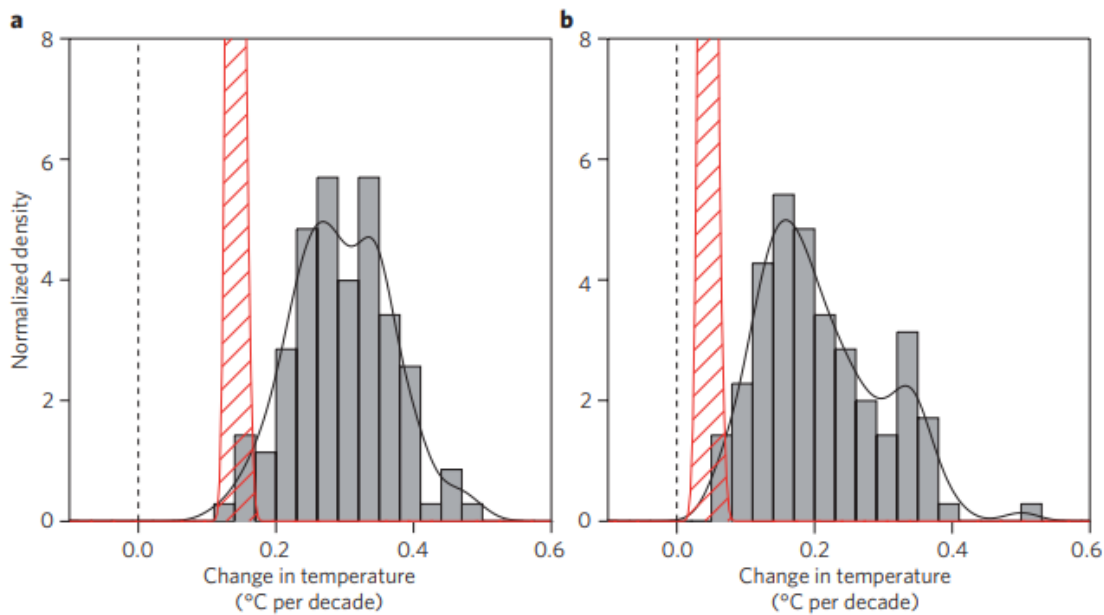


**Figura 87** – Comparação de trajetórias da temperatura da baixa troposfera conforme observações e previsões de modelos (1975-2025). **(A)** 44 modelos (diversas linhas finas coloridas, com média em linha preta grossa) versus observações de satélites UAH (linha azul) e RSS (linha vermelha) até 2012; **(B)** 102 modelos (diversas linhas finas coloridas, com média em linha vermelha grossa) versus médias de observações em satélites (quadrados verdes) e em balões (círculos azuis) até 2015; **(C)** e **(D)** Idem gráfico (B), com a diferença de exibir somente a média (linha vermelha) das projeções dos 102 modelos. Fontes: (A) Spencer (2013); (B) e (C) Christy (2016); (D) McNider e Christy (2014).

Os dados examinados indicam um aquecimento menor do que o esperado e uma baixa correspondência entre as expectativas dos modelos climáticos e as observações do mundo real. Com base nas linhas de evidência – aqui apresentadas como numerosas publicações científicas, artigos de *blogs* e notícias da mídia – percebe-se que o aquecimento global ocorreu em um ritmo substancialmente menor do que o previsto com base em projeções fundamentadas exclusivamente nos efeitos das emissões de GEEs.

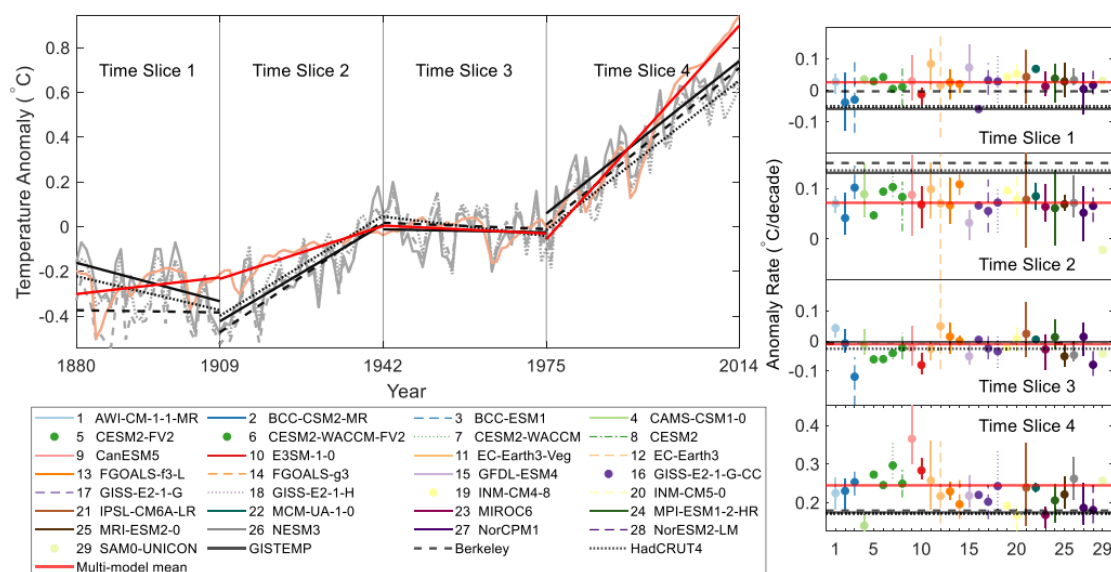
Consequentemente, houve esforços intensos da comunidade científica voltados para a compreensão do fenômeno “intrigante” – intrigante porque o acúmulo de GEEs na atmosfera não havia diminuído enquanto o aquecimento da superfície diminuiu – gerando variadas percepções sobre o sistema climático. Um aquecimento global superestimado no período de hiato

(1998-2012) foi finalmente reconhecido no estudo de Fyfe, Gillett e Zwiers (2013), que comparou 117 previsões climáticas (**Figura 88**, colunas cinzas) feitas na década de 1990 com a quantidade real de aquecimento (**Figura 88**, áreas hachuradas vermelhas). Do total das previsões, somente três foram aproximadamente precisas, enquanto que 114 superestimaram a quantidade de aquecimento. Em média, os resultados dos modelos previam duas vezes mais aquecimento global do que realmente ocorreu.



**Figura 88** – Tendências da temperatura média global da superfície: **(A)** 1993–2012; **(B)** 1998–2012. Os histogramas das tendências observadas (hachura vermelha) são de 100 reconstruções do conjunto de dados do HadCRUT4. Os histogramas das tendências do modelo (barras cinzas) são baseados em 117 simulações dos modelos, e as linhas pretas são versões suavizadas das tendências dos modelos. Fonte: Fyfe, Gillett e Zwiers (2013).

Em resultado semelhante, Papalexiou et al. (2020) quantificaram que o aquecimento pós-1998 foi superestimado em 90% das simulações. Ao investigar a desaceleração do aquecimento pós-1998 em observações e modelos, a taxa média de aquecimento obtida pelo multimodelo CMIP6 foi de 0,23 °C por década, substancialmente maior do que a taxa observada de 0,1 °C por década. Ou seja, apenas 10% de todas as simulações de modelo mostraram uma taxa de aquecimento tão pequena. Outro ponto de divergência dos modelos com as observações foi constatado para o hiato de 1880-1910: enquanto existe uma taxa de aquecimento simulada pelo CMIP6, mostrando uma tendência de aquecimento fraco, as observações apresentaram resfriamento. Essa taxa decrescente foi reproduzida somente em 20% das simulações dos modelos. Como síntese visual da comparação entre observações e modelos, os autores apresentaram os gráficos que constam na **Figura 89**.



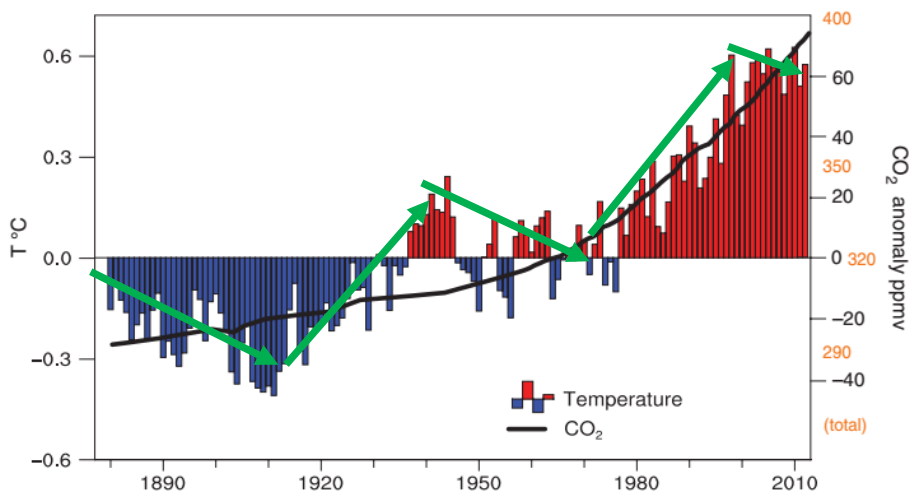
**Figura 89** – Períodos de aquecimento, resfriamento e hiato em anomalias de temperatura média global observadas (cinza) e médias de vários modelos (laranja) (em relação a 1951-1980). As linhas pretas e vermelhas mostram, respectivamente, a tendência das observações e da média multimodelo durante diferentes períodos de tempo. Os gráficos à direita mostram as taxas de aquecimento/resfriamento (°C/década) para modelos individuais durante as fatias de tempo. Fonte: Papalexioiu et al. (2020).

Logo, os interesses da mídia e do público passaram a crescer consideravelmente a partir de 2013, e grupos com interesses particulares usaram o caso para questionar a confiança tanto na ciência do clima quanto no uso de modelos climáticos. Lembrando que, pouco antes, em nov/2009, a mudança do clima já havia passado por forte escrutínio público, em virtude do *Climategate*<sup>143</sup>, evento que motivou sérios questionamentos inquietantes sobre a integridade de alguns cientistas. Com a moral ainda abalada, os cientistas sentiram que precisavam responder à desconfiança do público. Consequentemente, motivados pelo aumento do foco na mídia e na *blogosfera*, os primeiros estudos científicos relacionados ao hiato começaram a ser produzidos mais intensamente a partir de 2013, focando nas variações naturais no sistema climático como explicação. Outras razões também podem ter desempenhado um papel importante em trazer o hiato ao foco público, e em torná-lo não apenas um tópico de pesquisa conduzido cientificamente, mas também publicamente conduzido, como a uma falta de comunicação clara dos cientistas. Em última análise, todo o episódio levou à inclusão de uma seção dedicada ao hiato no relatório AR5 do IPCC, publicado em 2013/2014. Na coletiva de imprensa quando o relatório foi divulgado, houve mais perguntas dos jornalistas sobre o hiato do que sobre qualquer outro assunto abordado no relatório (MEDHAUG et al., 2017).

<sup>143</sup> Evento relativo ao vazamento de *e-mails* comprometedores de cientistas Unidade de Pesquisa Climática (CRU). Para mais detalhes, consultar Oliveira, Carneiro e Vecchia (2017).

O aquecimento global parecia ter se tornado evidente pela primeira vez além dos limites da variabilidade natural na década de 1970, mas os aumentos nas temperaturas médias globais da superfície estagnaram na década de 2000. Surpreendendo boa parte da comunidade científica climática – cujo pensamento hegemônico gerava a expectativa de aumentos exponenciais das temperaturas globais – essa desaceleração (hiato) no aumento da temperatura média global na última década induziu a uma quebra de paradigmas. Por exemplo, Trenberth e Fasullo (2013) sugeriram que a variabilidade decadal natural modulava a taxa de mudança das temperaturas globais da superfície.

Com o surgimento do hiato nas tendências de temperaturas globais, inaugurou-se uma importante fase nas ciências do clima: o amplo reconhecimento da influência de fatores naturais nas mudanças climáticas. O primeiro passo nesse sentido foi conceber novas abordagens de análise, enxergando as séries de temperatura de modo diferente do que era antes convencionalmente difundido: invés de assumir o aumento das temperaturas seguindo uma tendência exponencial (**Figura 64** e **Figura 65**, p. 185 e 185), passou-se a enxergar na forma de sucessivas etapas (**Figura 90**), no formato de uma “escada irregular”, com períodos de pausa, desaceleração ou até mesmo “reversão do aquecimento” (resfriamento) – como exemplo os períodos de 1880-1910, 1945-1975 e 1998-2012 – intercalados com períodos de aquecimento pronunciado (conforme os períodos 1910-1945, 1975-1998). É incrível constatar que o “pequeno hiato” de 1998-2012 motivou a todos perceberem de verdade o que já tinha acontecido nos dois hiatos anteriores, muito mais evidentes e prolongados.



**Figura 90** – Mudanças estimadas nas temperaturas superficiais globais médias anuais (°C, barras coloridas), concentrações de CO<sub>2</sub> (linha preta espessa) desde 1880, e tendências lineares das temperaturas por períodos (setas verdes). Fonte: Modificado a partir de Trenberth e Fasullo (2013), original apresentado anteriormente na Figura 64, p. 185.



Cabe suscitar alguns questionamentos: Como teriam os hiatos anteriores passado tão despercebidos? O hiato recente teria sido realmente imprevisível? Foram os cientistas do clima “pegos de surpresa”? Na sequência, será provado que, antes do hiato moderno, já existiam publicações sobre oscilações nas temperaturas, com causas já relativamente bem compreendidas. Logo, a comunidade científica já tinha elementos suficientes para garantir a ciência sobre as oscilações climáticas naturais. Não foi por mero desconhecimento, pelo contrário, boa parte dos cientistas simplesmente preferiu conscientemente desconsiderar fatos e inconfundíveis hiatos já ocorridos no passado, ignorando oscilações nítidas e apostando na ideia de um aquecimento global em ritmo ascendente, ininterrupto e interminável.

### **3.2.2. Breve histórico de análises sobre oscilações do clima – antes da “descoberta do hiato” em 2012**

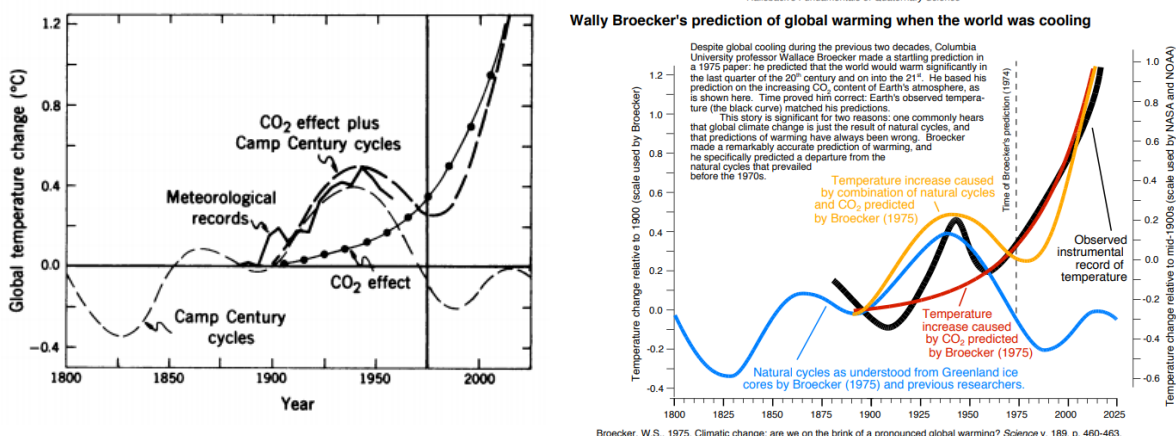
O episódio do “hiato” remete a uma dúvida intrigante: como um período tão curto (1998-2012) teria instigado a percepção dos outros períodos de hiatos anteriores (1880-1910 e 1945-1975)? Sendo que esses eventos mais antigos foram muito mais longos e, portanto, estavam mais óbvios. Se não fosse o hiato recente, então ninguém antes disso já não teria constatado os evidentes hiatos de décadas atrás? De fato, já havia pesquisadores e cientistas que notaram tais comportamentos cíclicos de alternância de períodos de “hiato/pausa/desaceleração” (resfriamento) com fases de aquecimento. Porém, na época, não houve tanto destaque na imprensa e nem qualquer notoriedade perceptível pelo público geral.

Curiosamente, o cientista que alertou precocemente sobre a mudança climática e que popularizou o termo “aquecimento global” pode ter sido o primeiro a publicar um trabalho que contemplava ciclos naturais. Wallace Smith Broecker [1931-2019], geoquímico norte americano, há 45 anos atrás publicou um artigo (BROECKER, 1975) intitulado: *“Mudança climática: estamos à beira de um aquecimento global pronunciado?”*.

Amplamente creditado como responsável por conceber o termo “aquecimento global”, Broecker foi um dos primeiros cientistas a utilizar modelos climáticos para prever mudanças futuras na temperatura da Terra. O autor elaborou um modelo simplificado que levou em conta os efeitos combinados dos GEEs e de ciclos climáticos naturais, conforme estimado com base na análise de testemunhos de gelo obtidos na Groenlândia. O ponto principal do trabalho dele é que, “nos 30 anos anteriores (1945-1975), a tendência de aquecimento devido ao CO<sub>2</sub> foi compensado por um resfriamento natural”. Por analogia com eventos semelhantes no passado, o autor afirma que “os ciclos naturais futuros simplesmente modulariam esse aumento

[da temperatura] cada vez mais acentuado (períodos de 40 anos de aumento mais rápido seguidos por períodos de 40 anos de aumento menos rápido)”.

Broecker notou que os indícios fortemente sugeriam que o resfriamento – iniciado em 1940 e que persistia até a data da publicação (1975) – seria “mais um ciclo de uma longa série de flutuações climáticas naturais semelhantes”. Também pontuou que esse resfriamento, ao longo das três décadas (1940-1970), mais do que compensou o efeito de aquecimento produzido pelo CO<sub>2</sub> emitido na atmosfera. Com base em uma série de 1.000 anos de temperatura estimada a partir de testemunhos de gelo obtidos na estação de *Camp Century*<sup>144</sup>, Broecker identificou dois ciclos naturais significativos: um de 80 anos e outro de 180 anos. Segundo o autor, esses ciclos naturais apenas modulariam, no futuro, o aumento da temperatura, havendo períodos de 40 anos com aumento mais rápido da temperatura, seguidos por períodos de 40 anos de aumentos menos rápidos. Juntamente com os efeitos das emissões de CO<sub>2</sub>, os efeitos de tais flutuações na temperatura tiveram os resultados consagrados no gráfico (A) da **Figura 91**.

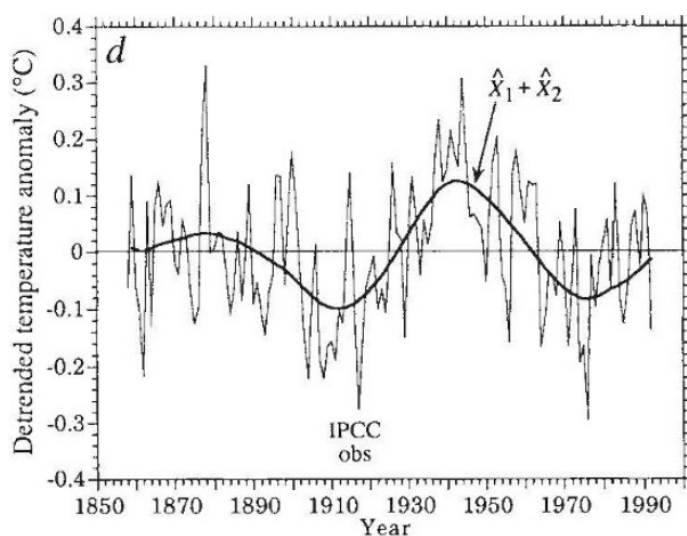


**Figura 91** – Primeira publicação em que os ciclos naturais foram considerados na composição da temperatura global terrestre. (A) Figura da publicação original de Broecker (1975); (B) Versão adaptada e colorida, na qual constam: mudança de temperatura global devido ao CO<sub>2</sub> (linha vermelha), ciclos climáticos naturais (linha azul), a soma dos dois efeitos (linha laranja), e anomalia de temperatura medida a partir de registros meteorológicos do último século (linha preta), fornecida para comparação. Fontes: (A) Broecker (1975); (B) Railsback (2019).

O conceito de mudanças climáticas cíclicas modernas começou a ser melhor elucidado por Schlesinger e Ramankutti (1993). No sentido de aumentar a compreensão das causas da variabilidade da temperatura ao longo do séc. 20, os autores incluíram como possibilidades:

<sup>144</sup> *Camp Century* refere-se ao núcleo de gelo (testemunho) retirado em Camp Century, local no noroeste da Groenlândia, onde o primeiro núcleo de gelo foi perfurado pelo Exército dos EUA, em 1966. A região foi escolhida em um lugar na calota de gelo onde foi estimado que as sucessivas camadas de gelo seriam pouco perturbadas pelos movimentos gerais do gelo. Na estimativa do autor, esse local era o único registro existente à época que poderia dar uma imagem das flutuações naturais na temperatura global nos últimos 1000 anos.

fatores externos (como o aumento das concentrações de GEEs, aerossóis antropogênicos de sulfato e forçamentos oscilatórios, como a variação na radiação solar); e fatores internos previsíveis (como ENOS) e imprevisíveis (“ruído”, variações aleatórias). Após aplicar análise de espectro em registros de temperatura média global, identificou-se uma oscilação de temperatura com um período de 65-70 anos (**Figura 92**), ciclo que coincide com resultados estatísticos das oscilações de 50-88 anos para o Oceano Atlântico Norte e seus continentes do Hemisfério Norte. Por fim, por meio da comparação com observações anteriores e simulações de modelo, os autores sugeriram que a oscilação de 65-70 anos surge da variabilidade interna previsível do sistema oceano-atmosfera.



**Figura 92** – Temperatura global após remoção de tendência (linha de linha fina) com sobreposição de tendência oscilatória (linha suave de linha grossa). Nota-se que nesse gráfico é possível observar dois períodos de “hiatos” (tendências descendentes na linha de variação da temperatura): 1880-1910 e 1945-1975. Fonte: Schlesinger e Ramankutti (1993).

Os autores Schlesinger e Ramankutti (1993) encerram o artigo com a seguinte frase: “É esperado que o curso futuro dessa oscilação possa ser previsto por modelos de circulação geral (MCGs) da atmosfera e do oceano”. Infelizmente, essa abordagem sobre componentes climáticos cíclicos ficou por mais de 20 anos relegada em vertentes acadêmicas restritas – por conta da pujante vertente “aquecimentoista” predominante nas décadas de 1980 e 1990. O assunto começou a timidamente voltar à tona em alguns trabalhos científicos no início da década de 2000, para, somente em 2012, receber destaque midiático e um amplo reconhecimento público, em virtude da repercussão generalizada provocada pelo recente “hiato” (1998-2012).

Há cerca de 20 anos atrás, em busca das causas das mudanças de temperatura global durante os séculos 19 e 20, Andronova e Schlesinger (2000) constataram que, embora o efeito antropogênico tivesse aumentado constantemente em tamanho durante todo o séc. 20, de modo

que foi identificado como a força externa dominante do sistema climático, ainda havia “um fator residual em ação dentro do sistema climático, seja uma oscilação natural ou outra coisa ainda desconhecida” e “inexplicável”. Ao longo do período 1856-1990, os efeitos da irradiância solar e dos vulcões teriam contribuído com um pequeno resfriamento. Quanto aos períodos de aquecimentos observados durante 1904-1944 e 1976-1990, os autores descartaram que o forçamento radiativo antropogênico fosse a causa predominante. Como causa determinante dessas fases, o papel do fator residual foi identificado como dominante durante 1944-1976 e 1976-1990. Suspeitando que o fator residual em ação deveria estar dentro do sistema climático, os autores indagaram:

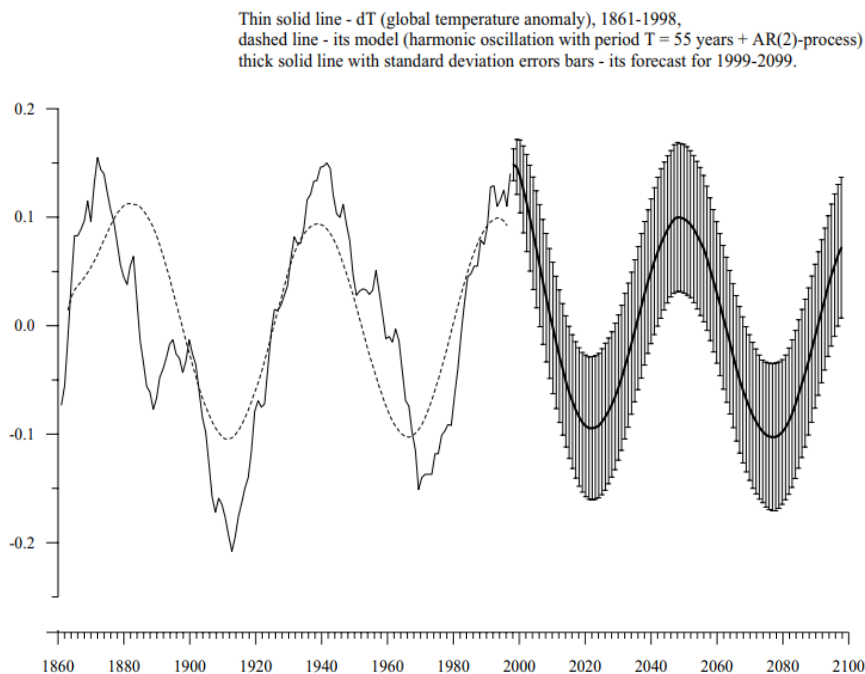
Qual é o fator residual responsável pelo aquecimento observado em 1904-1944 e subsequente resfriamento de 1944-1976? Uma possível explicação para isso (...) é o resultado de uma oscilação de temperatura sobre o Oceano Atlântico Norte e suas áreas adjacentes com um período de 65-70 anos (ANDRONOVA; SCHLESINGER, 2000, p. 2140; tradução nossa).

Diante das incertezas, conseqüentemente os autores concluíram que era:

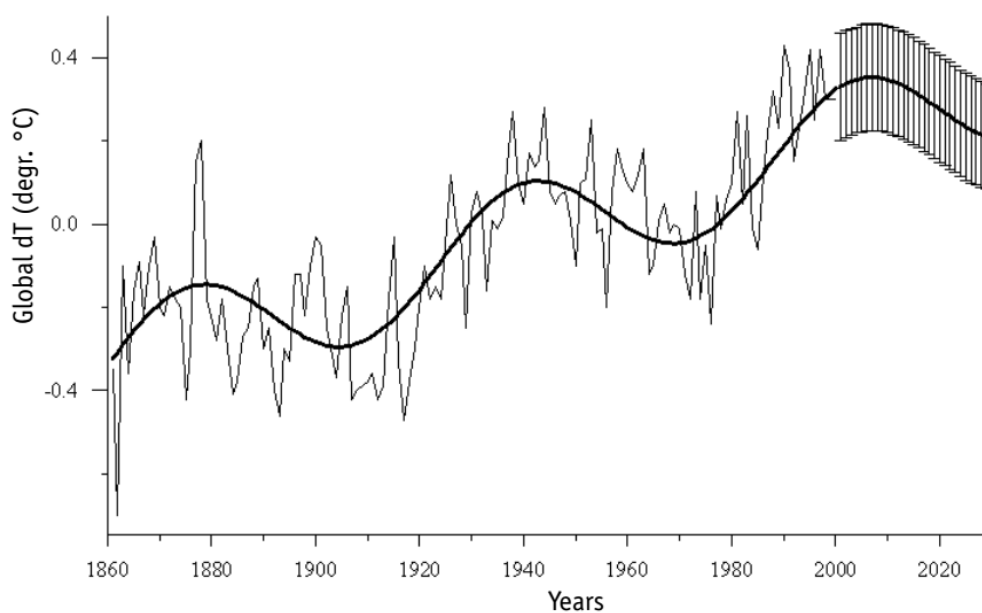
(...) prudente não esperar a continuação do aquecimento ano após ano no futuro próximo e, ao fazê-lo, diminuir a preocupação com o aquecimento global caso o resfriamento global se manifeste novamente (ANDRONOVA; SCHLESINGER, 2000, p. 2140; tradução nossa).

Ainda, na década de 2000, cabe mencionar um livro publicado pela Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO, sigla do Inglês) que não estava exatamente centrado no clima. Na verdade, focando nas populações de peixes marinhos, a publicação (KLYASHTORIN, 2001) mostrou evidências de que flutuações climáticas possuíam relações significativas de longo prazo na abundância dos recursos pesqueiros, com implicações na previsão de capturas de peixes. No documento utilizou-se o conceito de oscilações climáticas de 60 anos para estabelecer conexão com as correspondentes flutuações regulares das populações e capturas das principais espécies de peixes comerciais. Para tanto, o estudo apresentou (**Figura 93**) os resultados da modelagem da taxa de variação da temperatura global, sem tendência, com base em um período de 55 anos de oscilações climáticas. Os números indicam que um harmônico com esta duração de período está de acordo com as oscilações anteriores, sugerindo que mudanças cíclicas semelhantes provavelmente continuarão durante os 30-60 anos futuros. Esse estudo da FAO ainda teve aprofundamento em trabalhos posteriores (FAO, 2002; KLYASHTORIN; LYUBUSHIN, 2007). Este último estudo utiliza um gráfico (**Figura 94**), publicado anteriormente

em Klyashtorin e Lyubushin (2003), no qual é apresentada uma previsão da temperatura global para o ano 2030, com base em um ciclo de 64 anos.



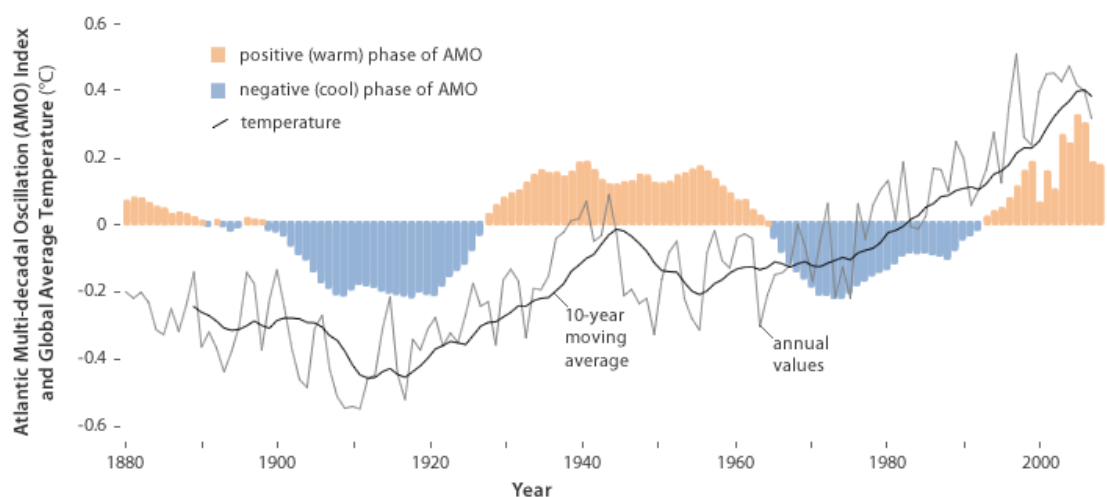
**Figura 93** – Flutuações passadas e futuras da anomalia de temperatura global (tendência de longo prazo removida). Linha fina: anomalia de temperatura global; Linha pontilhada: modelo de ajuste (oscilação harmônica com período de 55 anos); Linha grossa com barras de erros (desvio padrão): previsão para 1999-2099. Fonte: Klyashtorin (2001), p. 50.



**Figura 94** – Tendência global dos desvios de temperatura medida (a partir de 1861) e modelada (até 2030). Linha fina: anomalia de temperatura global anual; Linha grossa: tendência modelada cíclica com período de 64 anos; Linha grossa com barras de erro: tendência prevista modelada para 2000-2030. Fonte: Klyashtorin e Lyubushin (2003).

Em 2008, dois artigos na revista *Science* já apontavam cenários com influência de variações climáticas naturais, especialmente decorrentes de oscilações oceânicas. No primeiro artigo (KEENLYSIDE et al., 2008), ao considerar as variações climáticas naturais internas em associação com o forçamento antropogênico futuro projetado, os autores fizeram a seguinte previsão: na década de 2010-2020, a circulação de revolvimento meridional do Atlântico enfraqueceria para sua média de longo prazo; além disso, a temperatura superficial dos oceanos do Atlântico Norte e as temperaturas da superfície da Europa e da América do Norte esfriariam ligeiramente, enquanto a temperatura superficial do Pacífico tropical permaneceria quase inalterada. Os resultados dos citados autores sugeriam que a temperatura global da superfície poderia não aumentar na década de 2010, “já que as variações naturais do clima no Atlântico Norte e no Pacífico tropical compensam temporariamente o aquecimento antropogênico projetado”. Assim, concluíram que a variabilidade decadal natural no Atlântico e no Pacífico poderia não apenas anular os efeitos regionais do aquecimento global, mas temporariamente enfraquecê-lo. No segundo artigo (WOOD, 2008), o autor reforçou: “o aquecimento não será regular; em vez disso, será modulado por variações naturais do clima” e que, na década de 2010, “a variabilidade natural do clima pode neutralizar a tendência de aquecimento subjacente em algumas regiões ao redor do Atlântico Norte”. O autor que asseverou que previsões razoavelmente precisas dos efeitos combinados do aumento das concentrações de GEEs e variações naturais do clima precisam ser feitas. Assim, os cientistas do clima, ao testarem e estenderem essas ideias nos próximos anos, existe a esperança de planejar o futuro com mais confiança nas previsões e maior fidedignidade com as observações.

Percebe-se, até o momento, que existem dois componentes que influenciam as temperaturas ao longo do tempo: há uma tendência devido ao aumento dos GEEs e uma variabilidade natural superposta a essa tendência. Além do controle humano, a variabilidade natural inclui mudanças oceânicas em grande escala que afetam as temperaturas regionais e globais. Ainda em 2008, já havia relatos de cientistas Scott (2009) de que as temperaturas globais, assim como podem ser aumentadas ou diminuídas por eventos El Niño/La Niña, também podem ser influenciadas pela Oscilação do Atlântico Norte (OAN) ou com a Oscilação Multidecadal do Atlântico (OMA), conforme destacado na **Figura 95**.



**Figura 95** – Temperatura média global comparada com o índice da OMA. O índice OMA é a temperatura média da superfície do mar no Oceano Atlântico Norte. As linhas quase paralelas dos dois parâmetros mostram que eles estão relacionados: o aumento da temperatura global ao longo do tempo, coincidente com o aumento dos GEEs observado desde a Revolução Industrial, é alternadamente obscurecido e intensificado pela OMA. Fonte: Scott (2009).

Desde o início da década de 2000, como principal expoente na intensa e consistente divulgação de análises das oscilações de temperatura, destaca-se o Dr. Don Easterbrook, Professor Emérito de Geologia, da Universidade de Washington Ocidental, EUA. Ele foi um dos primeiros cientistas “céticos” sobre o aquecimento global causado pelo homem a fazer uma previsão concreta sobre as mudanças futuras na temperatura da superfície global. Em 1998, Easterbrook fez a previsão de que a Terra esfriaria durante os primeiros 30 anos do séc. 21, com base em sua interpretação dos ciclos naturais do clima (NUCCITELLI, 2015). Em trabalho apresentado em 2001 à Sociedade Geológica dos Estados Unidos, Easterbrook já apresentava “evidências geológicas e oceanográficas para oscilações climáticas cíclicas”:

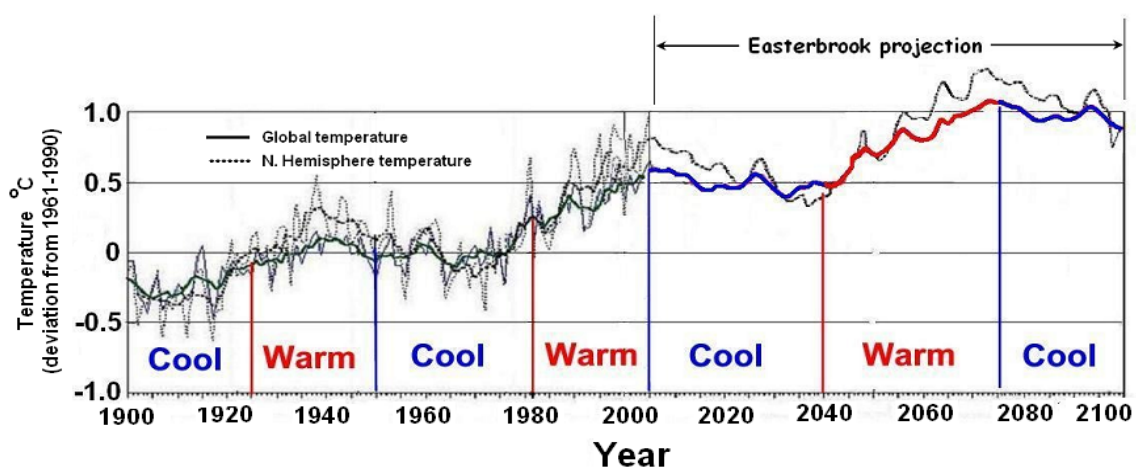
Prevê-se que as temperaturas globais aumentarão nas próximas décadas com o aumento do CO<sub>2</sub> atmosférico. (...) No entanto, evidências de mudanças climáticas ocorridas no século passado nas geleiras e nos oceanos sugerem outra possibilidade. O avanço e o recuo das geleiras no noroeste do Pacífico mostram três oscilações distintas (...). As evidências nas latitudes de clima temperado do Hemisfério Norte mostram padrões de oscilação cíclicos comparáveis no Pacífico Norte (ODP), no Atlântico Norte (OAN), nas geleiras alpinas europeias e nos núcleos de gelo da Groenlândia (GISP2). Se a tendência continuar, o ciclo de aquecimento atual deve terminar em breve. As linhas de aquecimento global mostram uma reversão de temperatura durante o último ciclo de resfriamento (1950 a 1980) em um momento em que grandes quantidades de CO<sub>2</sub> foram introduzidas na atmosfera. Disso, infere-se que as temperaturas globais, então, não eram impulsionadas apenas pelo CO<sub>2</sub> atmosférico, mas respondiam da mesma maneira que os ciclos glaciais e oceânicos do hemisfério norte, de clima temperado. O

aquecimento global atual ocorre durante um ciclo climático quente, sugerindo que apenas parte dele pode ser atribuído ao aumento de CO<sub>2</sub> atmosférico. Se os ciclos continuarem como no passado, o atual ciclo quente deve terminar nos próximos anos, e o aquecimento global deve diminuir, em vez de aumentar, nas próximas décadas (EASTERBROOK, 2001, p. 1503).

Ao longo da década de 2000, Easterbrook apresentou sucessivas apresentações de trabalhos à Sociedade Geológica dos Estados Unidos. Em 2005, conjecturou que:

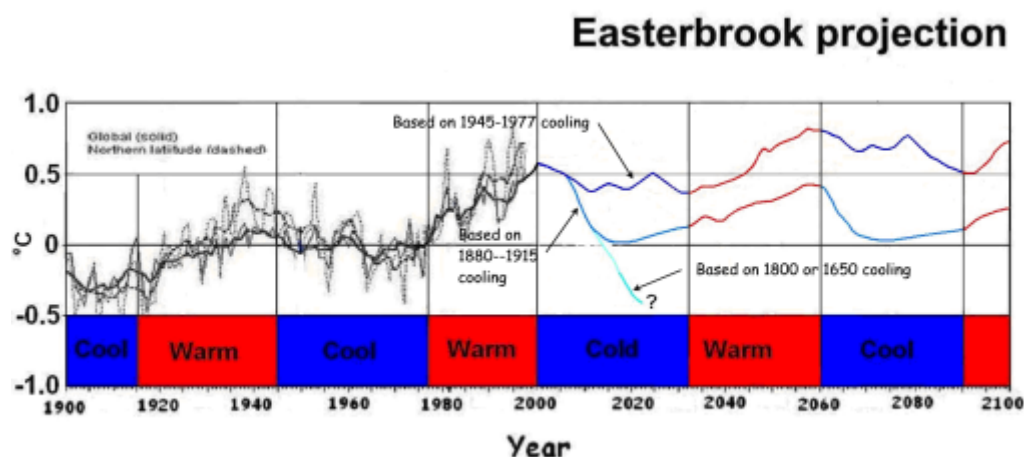
Se os ciclos continuarem como no passado, o atual ciclo quente deve terminar nos próximos anos, e o aquecimento global deve diminuir, em vez de aumentar, nos próximos 25-30 anos [até 2030-2035], seguido por um aquecimento global renovado nos próximos 25-30 anos [de 2030 a 2060] (EASTERBROOK, 2005, p. 41).

Com base na premissa da existência de sucessivos ciclos de aquecimento e resfriamento na temperatura média global, Easterbrook apresentou sua primeira previsão em 2006 (**Figura 96**) e uma segunda previsão em 2008 (**Figura 97**). Com base nessa projeção da linha de aquecimento global para o próximo século, sugeriu um resfriamento de 2006 a 2040, um aquecimento de 2040 a 2075 e resfriamento de 2075 a 2100. Assim, segundo Easterbrook (2006), o aumento total da temperatura global para o séc. 21 poderia ser de aproximadamente 0,3 °C, ao invés do “aquecimento catastrófico de 3 a 6 °C previsto pelo IPCC”.



**Figura 96** – Variação das anomalias da temperatura global entre 1900 a 2008, indicando fases quentes e frias, com projeção para 2100. Fonte: Easterbrook (2006).



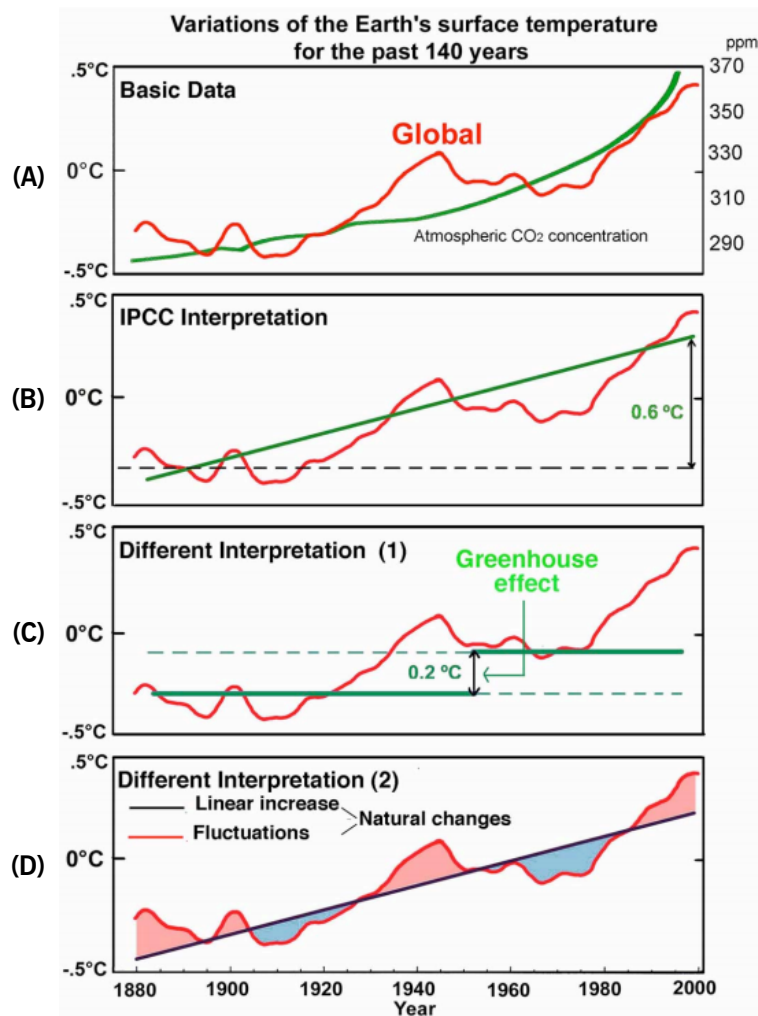


**Figura 97** – Variação da temperatura global entre 1900 a 2008, indicando fases quentes e frias, com três projeções para 2100. Fonte: Easterbrook (2008).

Easterbrook vem propagando suas ideias ao longo dos últimos 20 anos. Nesse tempo, participou de diversos eventos e chegou a ter um ritmo consistente de publicações<sup>145</sup>, dentre as quais se destacam o artigo de D’aleo e Easterbrook (2010) e o livro em que ele foi editor, “Ciência do clima baseada em evidências: dados que se opõem às emissões de CO<sub>2</sub> como a principal fonte do aquecimento global” (tradução livre), com duas edições (EASTERBROOK, 2011; 2016).

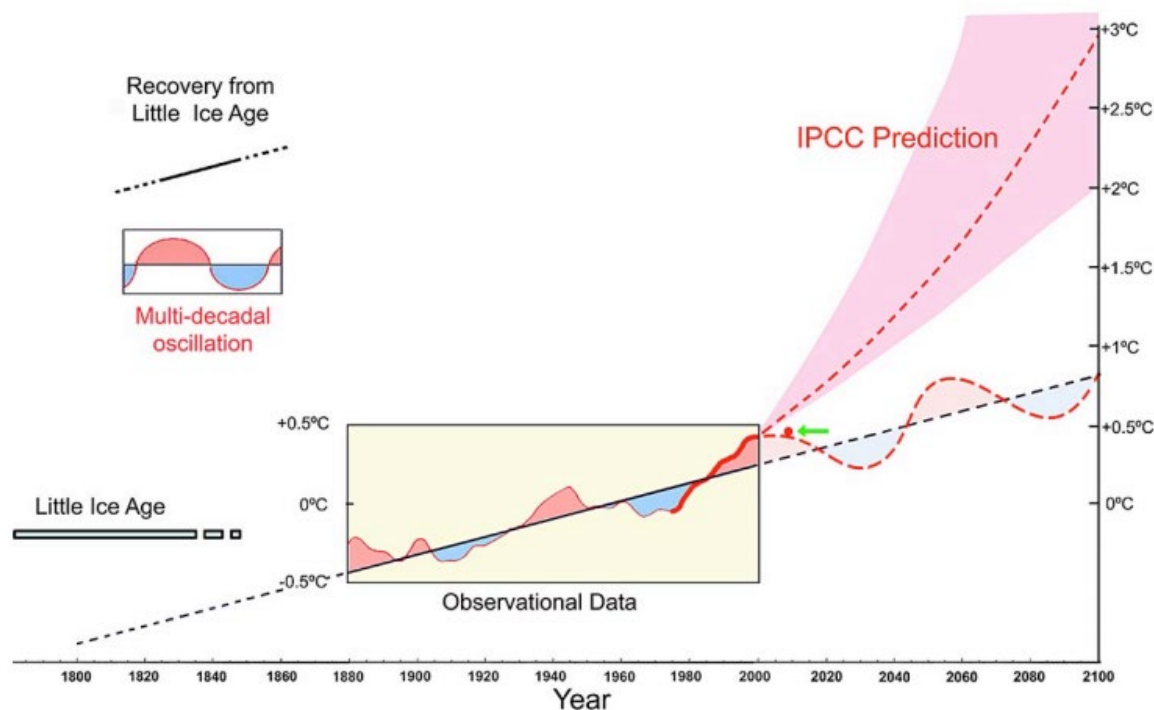
Por fim, na mesma linha de abordagem de Easterbrook, o Dr. Syun-Ichi Akasofu, Professor Emérito de Geofísica da Universidade de Alasca Fairbanks (UAF), agregou contribuições semelhantes. Em suas primeiras notas [Akasofu (2007) – nota revisada e ampliada em Akasofu (2008)], o pesquisador apresentou outras maneiras de interpretar as mudanças de temperatura, além do que é mostrado no gráfico (B) da **Figura 98**. Por exemplo, o gráfico (C) mostra outra interpretação: assume-se que houve um aumento de base de cerca de 0,2 °C durante os últimos 100 anos, que foi sobreposto por flutuações, como oscilações multidecais. O gráfico (D) mostra ainda outra interpretação: houve um aumento quase linear da mudança natural de temperatura durante os últimos 100 anos, que é superposto por flutuações, como oscilações multidecais. Com base nessas interpretações, o autor enfatizou que uma parte significativa do aumento de 0,6 °C seria devido a mudanças naturais, tanto uma mudança linear quanto as mudanças cíclicas (flutuações). Quanto à mudança linear, sugeriu que esta pode ser devido ao fato de a Terra estar se recuperando lentamente da PEG; enquanto que oscilações multidecais como Oscilação Ártica, a ODP e ENOS explicariam as flutuações na temperatura.

<sup>145</sup> Lista completa de publicações de Easterbrook pode ser consultada em Easterbrook (2017).



**Figura 98** – Possíveis interpretações da série de temperatura global. **(A)** Dados básicos sobre o aquecimento global, com variação da temperatura e da concentração de CO<sub>2</sub>; **(B)** Interpretação do IPCC, indicando que o aumento de 0,6 °C seria causado pelo aumento do efeito estufa; **(C)** Interpretação sugerida pelo autor da referência, sugerindo, a partir de linhas-base, uma mudança de 0,2 °C por século, com flutuações adicionais; **(D)** Mudança natural linear superposta por flutuações naturais. Fonte: Akasofu (2007).

Com base na hipótese concebida, posteriormente houve outra nota (AKASOFU, 2009) e duas publicações (AKASOFU, 2010; 2013) oferecendo uma alternativa de projeção da temperatura (**Figura 99**). No gráfico, a tendência linear é uma continuação da recuperação da PEG, junto com a oscilação multidecadal superposta. Para comparação, foi indicado também o aumento de temperatura previsto pelo IPCC após 2000. Alternativamente, por meio do gráfico principal, o autor supõe que a recuperação da PEG pode continuar até 2100, juntamente com a oscilação multidecadal superposta. Essa visão poderia explicar a interrupção (hiato) do aquecimento após o ano 2000.



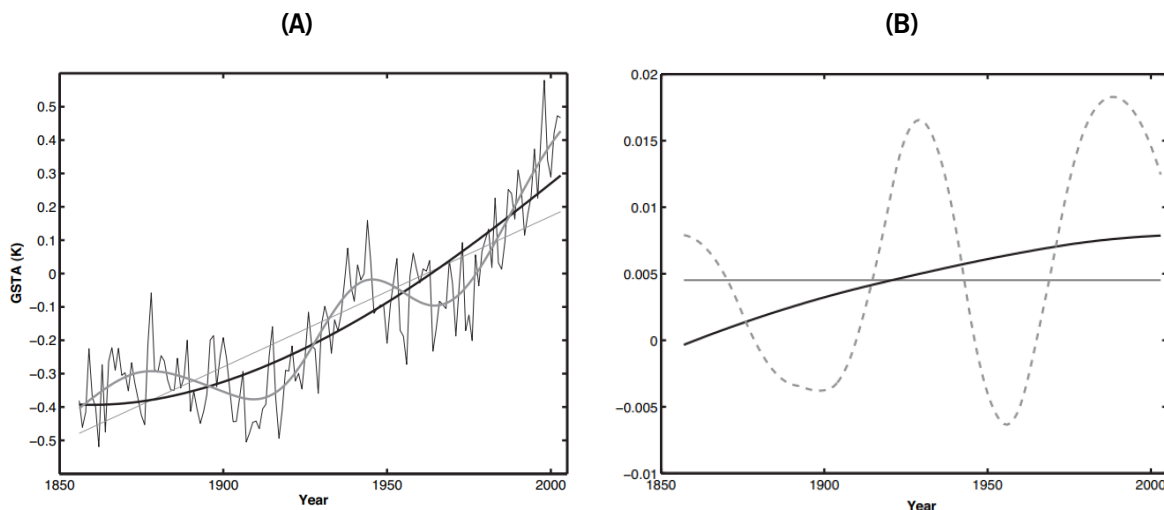
**Figura 99** – Modelo alternativo sobre as mudanças de temperatura de 1880 a 2000. Elas podem ser explicadas principalmente como uma combinação de um aumento linear com a oscilação multidecadal. A temperatura observada em 2008 é mostrada por um ponto vermelho com uma seta verde. Foi sugerido pelo IPCC que a porção espessa da linha azul foi causada principalmente pelo efeito estufa, então sua previsão futura é uma espécie de extensão da linha azul. Fonte: Akasofu (2010).

De fato, com o passar do tempo, a magnitude das previsões de Easterbrook, Akasofu e seus antecessores se mostraram parcialmente equivocadas, pois elas exageraram nas taxas de resfriamento no período de 2000–2020, motivo que ensejou algumas análises críticas<sup>146</sup>. De fato, tais previsões foram mais aproximações visuais, com traços “artesanais”, do que projeções obtidas e fundamentadas em técnicas estatísticas. Todavia, tais divergências não devem ser motivo de desmerecimento completo e invalidação total de suas ideias. Pode-se, sim, creditá-los por terem sido pioneiros a suscitar e insistir na existência de fatores oceânicos e astronômicos agindo como osciladores climáticos naturais, capazes de influenciar e imprimir marcas perceptíveis e consideráveis nas temperaturas globais.

Com resultados semelhantes a Easterbrook, Akasofu e outros autores citados antes, Wu et al. (2007) apresentaram uma abordagem estatística, com base na técnica de Decomposição de Modo Empírico, para ajustar tendências e linhas aos dados de temperatura global. Uma comparação entre os diferentes ajustes da temperatura global é ilustrada na **Figura 100**. No

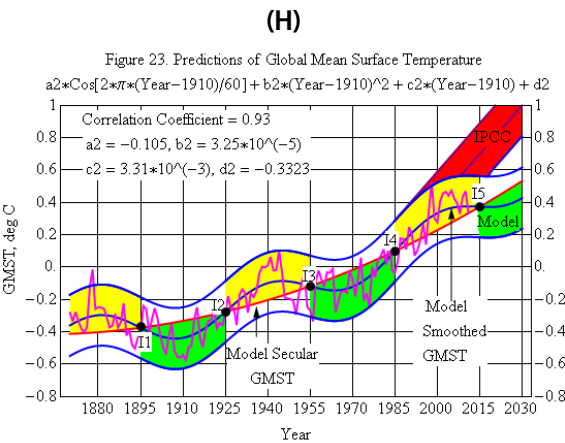
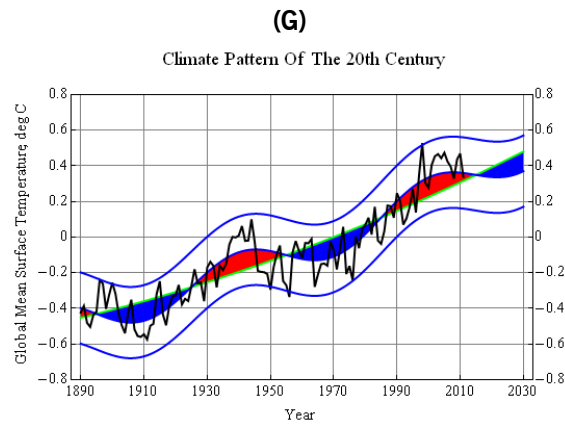
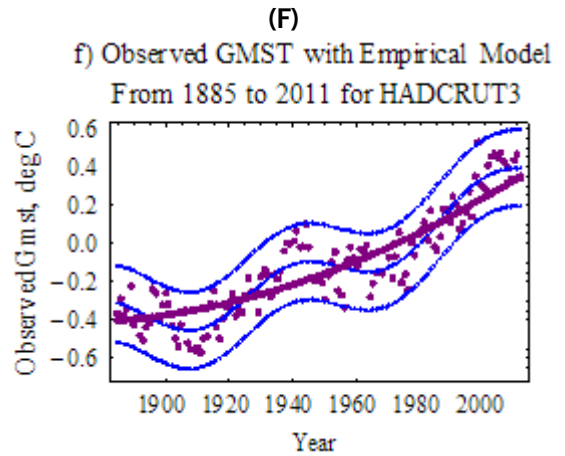
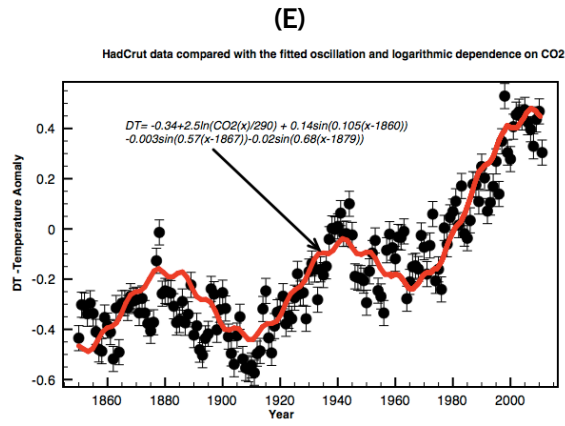
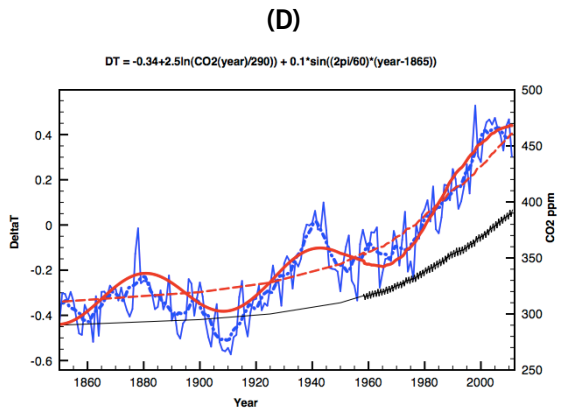
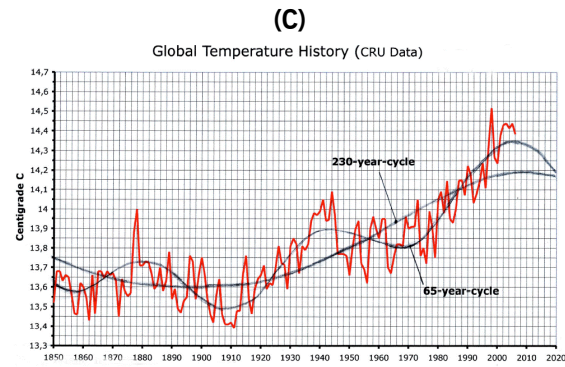
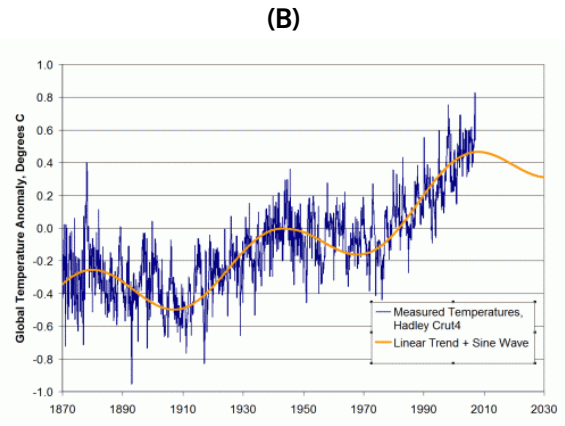
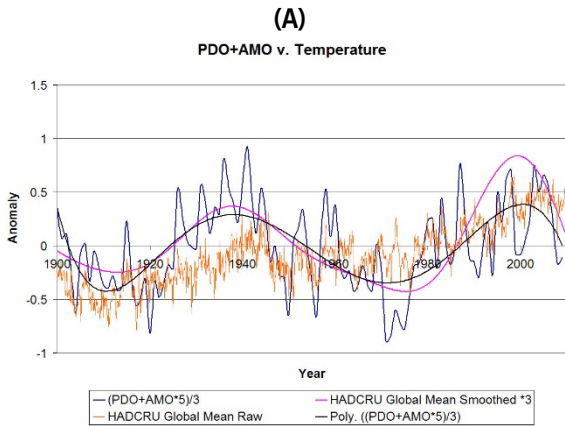
<sup>146</sup> Críticas aos trabalhos de Easterbrook: Nuccitelli (2011a, 2012). Críticas aos trabalhos de Akasofu: Nuccitelli (2011b), Nuccitelli (2013), Nuccitelli et al. (2013); Críticas aos trabalhos de ambos: Nuccitelli (2015), Cap. 5.

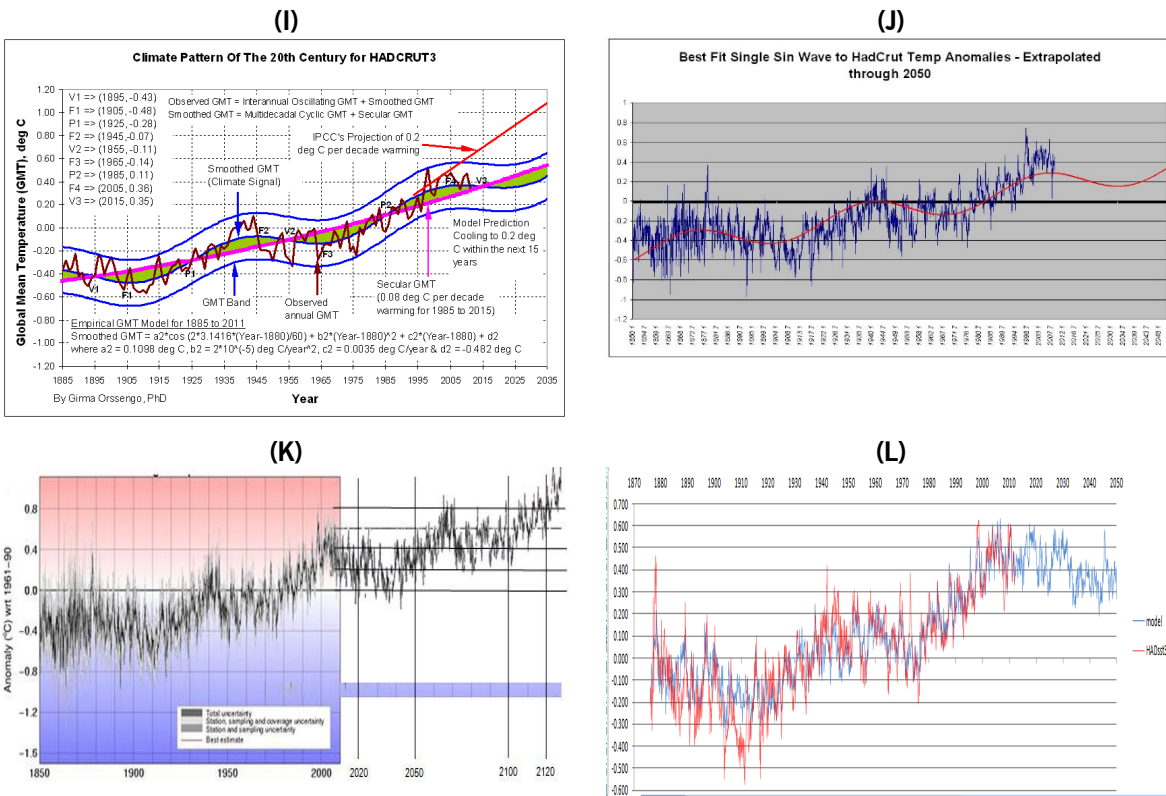
gráfico **(B)**, pode-se notar que houve três períodos em que as taxas de variação da temperatura eram mais altas (1860, 1930 e 1980), s quais estão intercalados com períodos de quedas de temperatura (1900 e 1955).



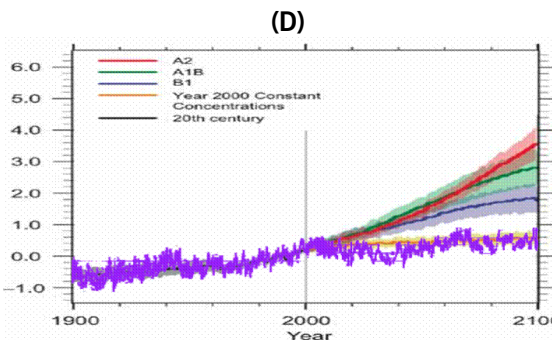
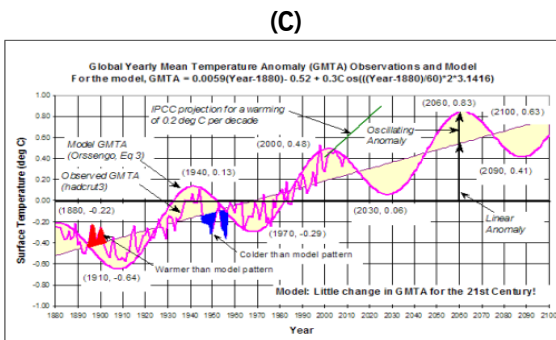
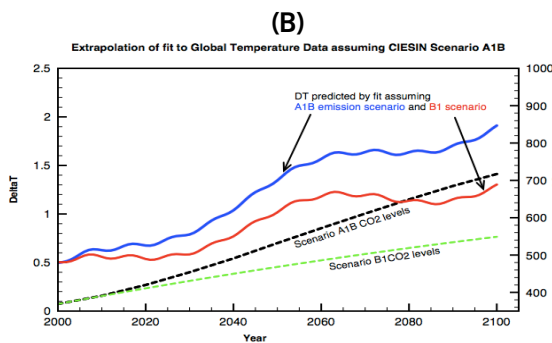
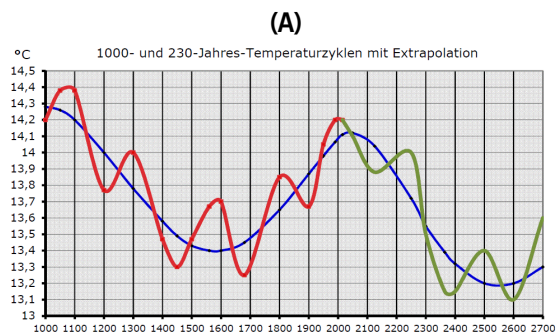
**Figura 100** – Diferentes métodos de ajustes à temperatura global: **(A)** variações anuais de temperatura (linha preta fina) e suas tendências (linha cinza fina: tendência linear; linha preta espessa: tendência adaptativa geral; e linha cinza espessa: tendência multidecadal). **(B)** Taxas de variação (derivada temporal da tendência, em graus Kelvin por ano) para a tendência geral (linha sólida espessa) e para a tendência multidecadal (linha tracejada espessa). Fonte: Wu et al. (2007).

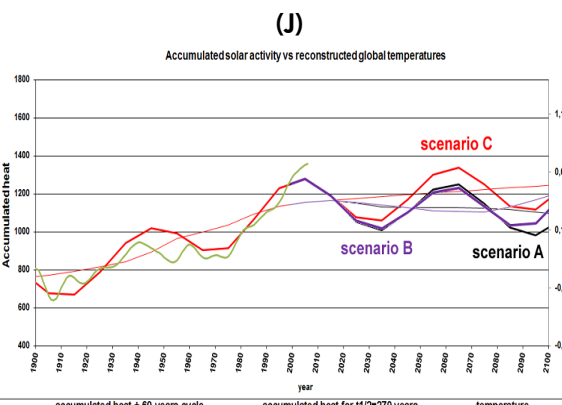
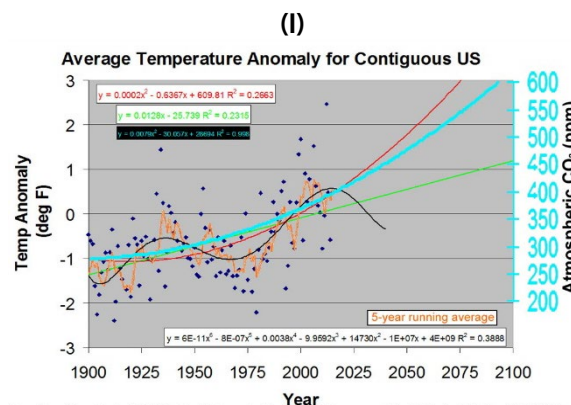
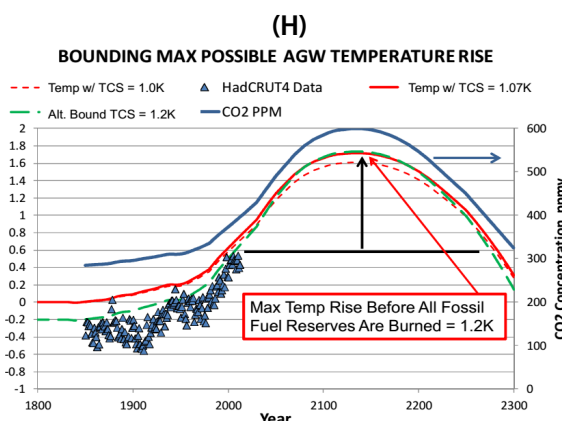
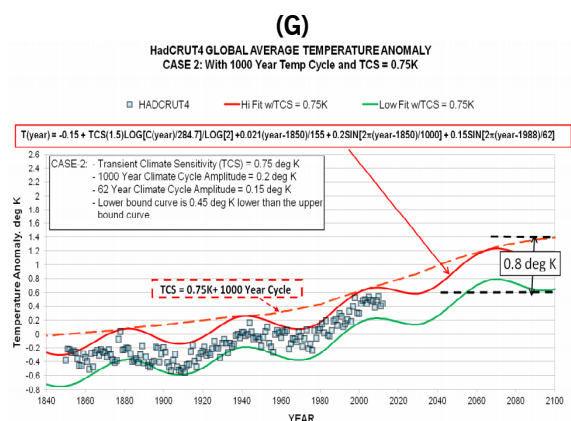
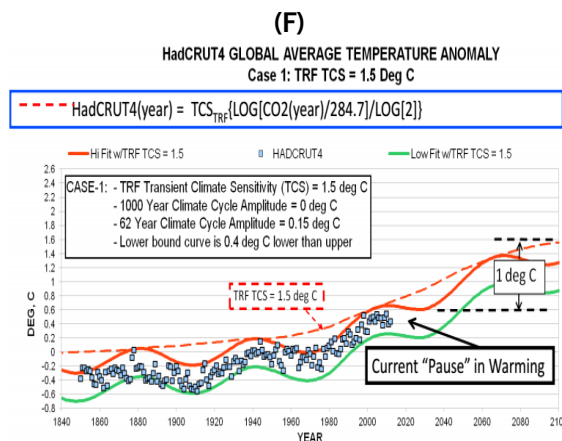
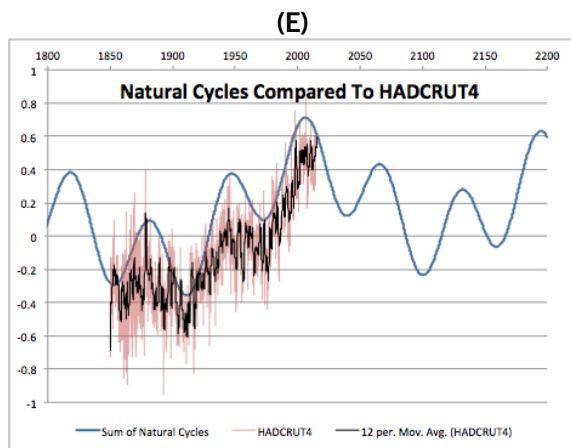
Ainda antes do reconhecimento amplo por parte da comunidade científica, discussões na *blogosfera* corroboravam estudos científicos ao propor também seus modelos alternativos de explicação das temperaturas globais. Então, na época em torno do ano 2010, pessoas “comuns” (não cientistas), curiosos, entusiastas e profissionais com diferentes formações e competências técnicas já estavam apresentando diferentes concepções de projeções. Dotados de certo domínio em manipulação de dados, elaboração de gráficos e tendências, esses amadores apresentaram diversos gráficos interessantes, com qualidades variadas e explicações em diferentes níveis de complexidade. Para fins ilustrativos de visualização expedita, na **Figura 101** (modelagens e previsões curtas) e na **Figura 102** (com projeções mais longas) são apresentados alguns gráficos ilustrativos desse gênero, cujos detalhes não serão aprofundados aqui, mas poderão ser acessados nas respectivas referências.





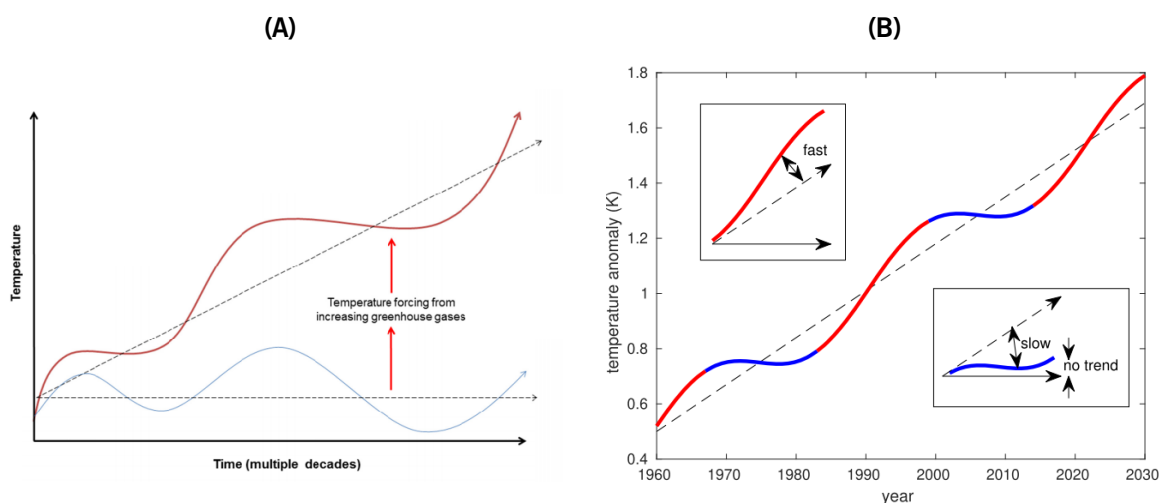
**Figura 101** – Modelos alternativos de ajustes a séries de temperatura, evidenciando componente com comportamento oscilatório, conforme apresentado em *blogs*. **(A)** Gráfico com relação entre temperatura global e oscilações oceânicas (ODP e OAM); **(B)** Ajuste de modelo realçando flutuações cíclicas de 63 anos; **(C)** Modelo que considera a sobreposição de ciclos de De Vries (230 anos) e ciclos de 65 anos; **(B)** Modelo evidenciando a oscilação de 60 anos na temperatura global. **(E)** Modelo considerando ciclos sobrepostos de 60 anos, 11 anos e 9,3 anos. **(F)**, **(G)**, **(H)** e **(I)** Quatro versões de um modelo baseado em um ciclo de 60 anos. Fontes: (A) The Hockey Schtick (2010); (B) Climate Skeptic (2013); (C) Koelle (2015); (D) Best (2011a); (E) Best (2011b); (F), (G), (H) e (I) Orssengo (2012a, 2012b, 2013a, 2013b); (J) Digital Diatribes (2009); (K) Appinsys (2012); (L) Tallbloke (2012).





**Figure 102** – (A) Aproximação das observações de temperatura (1.000-2.000 d.C., linha vermelha), conforme ciclos de Suess (1.000 anos, linha azul) e ciclos de De Vries (230 anos), com previsões até o ano 2.700 (linha verde). (B) Apresenta duas projeções de temperatura (2000-2100) com base em dois possíveis cenários de emissões de CO<sub>2</sub> associados aos ciclos (60 anos, 11 anos e 9,3 anos) identificados em Best (2011b); (C) Modelo que considera um ciclo de 60 anos; (D) Modelo de aproximação meramente visual; (E) Modelo que considera a soma dos ciclos de 60 anos (ciclo oceânico da OMA), 210 anos (ciclo solar de De Vries ou Suess) e o de 1.000 anos (sem nome); (F) Modelo que considera o ciclo de 62 anos associado com contribuição antropogênica de GEE, sob hipótese alternativa de sensibilidade do equilíbrio climático assumida pelo autor; (G) Idem gráfico anterior, acrescentando um ciclo de 1.000 anos; (H) Extrapolação do modelo dos gráficos (F) e (G) até o ano 2.300, demonstrando o limite máximo de aumento 1,2 °C para diferentes sensibilidades climáticas; (I) Ajuste considerando uma regressão linear de 6º grau. (J) Projeções de temperaturas globais de acordo com os cenários de atividade solar A, B e C (vermelho, roxo e preto) até 2100, em comparação com as observações das temperaturas globais (verde). Fontes: (A) Koelle (2015); (B) Best (2011b); (C) Orssengo (2010); (D) Appinsys (2012); (E) Caryl (2015a, b); (F), (G) e (H) Doiron (2014a, 2014b, 2015a, 2015b); (I) Williams (2015); (J) Kalenda (2018) e Kalenda e Miloslav (2020).

Pelo o exposto até aqui, nota-se uma robusta quantidade de estudos e artigos que reconheceram a importância dos fatores climáticos cíclicos na composição das séries globais de temperatura. Assim, esse “novo olhar” – já experimentado há décadas, na verdade – lançado sobre as séries de temperaturas forçou a comunidade científica a admitir que, além dos fatores de forçamentos antropogênicos relacionados às emissões de GEEs, existem forçamentos naturais significativos. É fácil compreender que a essência da variabilidade decadal natural do clima pode ser descrita como os “altos e baixos” (oscilações cíclicas) do clima, que se sobrepõem a uma tendência (**Figura 103**). Desta forma, a variabilidade decadal pode acelerar ou desacelerar a taxa de aquecimento em escalas de tempo mais curtas, enquanto o aumento dos GEEs pode implicar um aquecimento constante no longo prazo.



**Figura 103** – Figuras esquemáticas ilustrando a variabilidade natural do clima na temperatura média global, que está sobreposta a forçamentos de longo prazo decorrentes de GEEs. **(A)** A linha da temperatura (curva vermelha) representa a combinação da variabilidade natural (curva azul) com o aquecimento antropogenicamente induzido (reta pontilhada inclinada). **(B)** As oscilações de “sobe-e-desce” provocadas pela variabilidade natural são “aceleradas” (linhas vermelhas) ou “desaceleradas” (linhas azuis) pelo aquecimento de longo prazo. Fonte: adaptado de National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine (2016), p. 6; e Risbey et al. (2018).

### 3.2.3. Análises sobre oscilações do clima – após da “descoberta do hiato” em 2012

O interesse científico sério na desaceleração começou por volta de 2009 (FYFE; MEEHL; ENGLAND). No início de 2014, duas edições especiais do periódico *Nature* foram dedicadas à “pausa” ou “hiato”, totalizando mais de 40 novos artigos sobre o tema naquele ano<sup>147</sup>. Além disso, o IPCC adotou o termo “hiato” em seu Quinto Relatório de Avaliação (AR5),

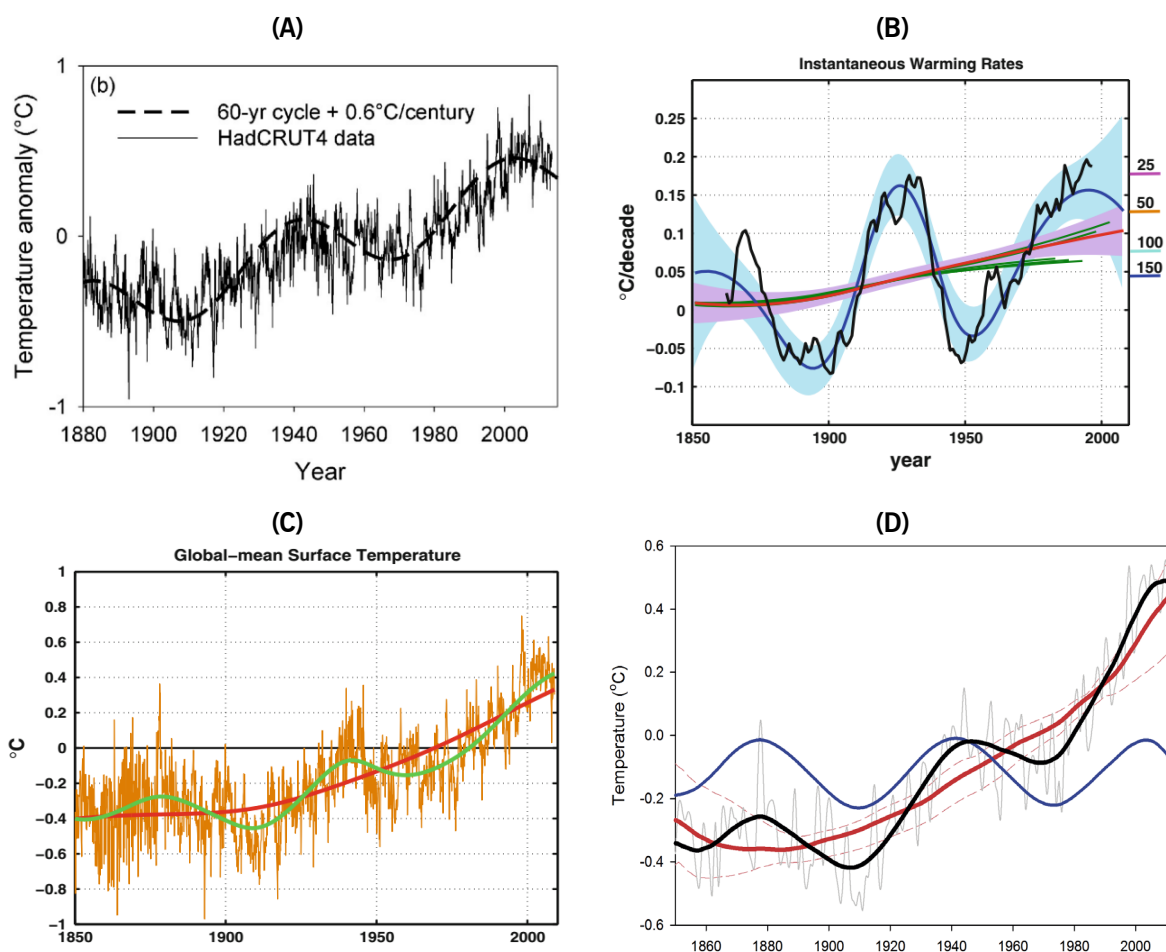
<sup>147</sup> No gráfico (B) da Figura 83 (p. 191), as colunas cinzas correspondem à quantidade de artigos publicados em cada ano.



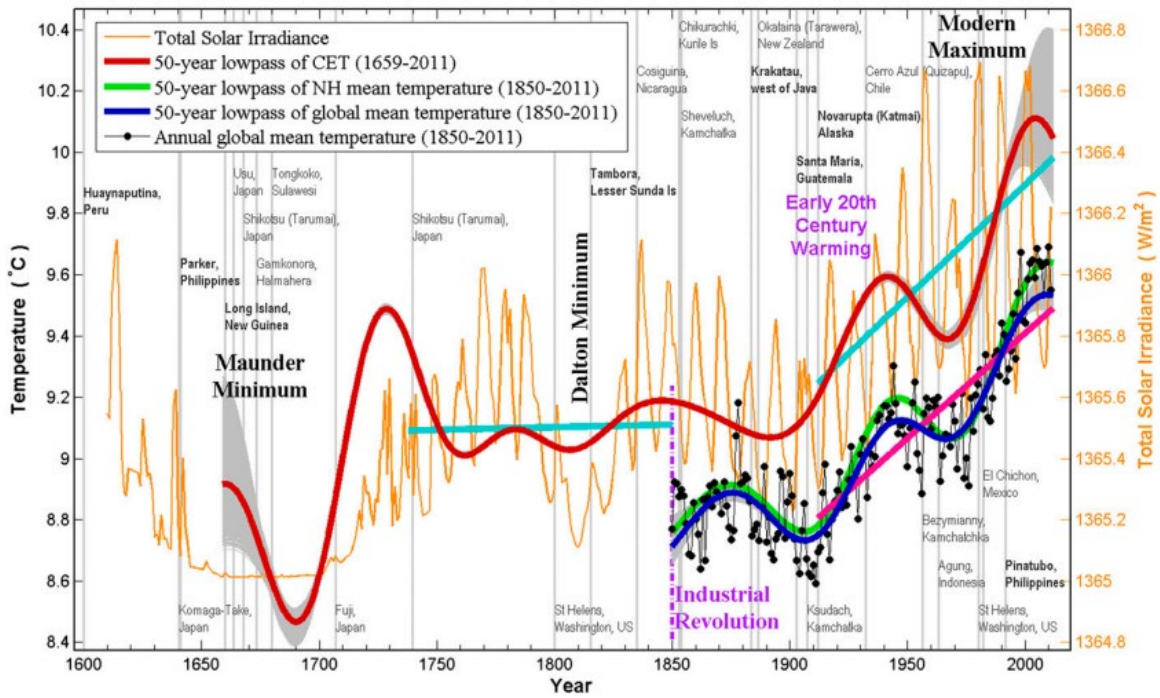
de 2013, e até mesmo forneceu uma definição do hiato como “a redução da tendência da temperatura média superficial global durante 1998-2012, em comparação com a tendência durante 1951-2012”. (LEWANDOWSKY et al., 2015, LEWANDOWSKY; RISBEY; ORESKES, 2016). No AR5, o IPCC admite em seu “Resumo para formuladores de políticas” que esta desaceleração seria devido a uma tendência de redução no forçamento radiativo e uma contribuição de resfriamento da variabilidade interna natural (HAWKINS; EDWARDS; MCNEALL, 2014).

Assim, com a nova perspectiva das mudanças climáticas sendo divulgadas informalmente pela *Internet*, somente após 2010 (com aumento expressivo a partir de 2013) que diversos artigos científicos passaram a internalizar e considerar a componente natural cíclica em seus modelos e análises. Como exemplificação, cabe, a seguir, apresentar um breve panorama de alguns resultados nesse sentido.

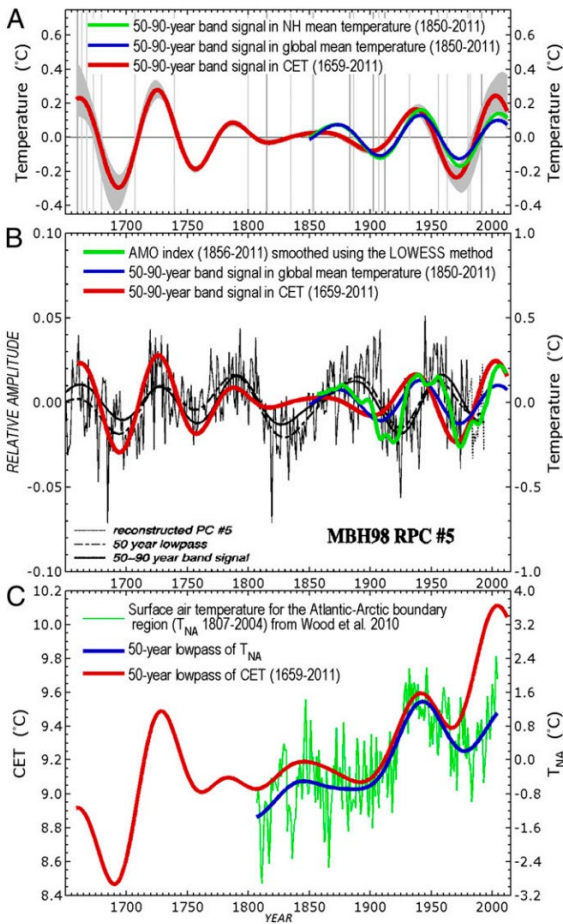
Desde 2012, diversos artigos têm assumido a ótica da natureza oscilatória das temperaturas globais (e algumas regionais) nos últimos 150 anos. Na abordagem da modelagem dos dados de anomalias de temperatura, na **Figura 104** exibe-se uma coletânea de gráficos apresentados em fontes variadas.



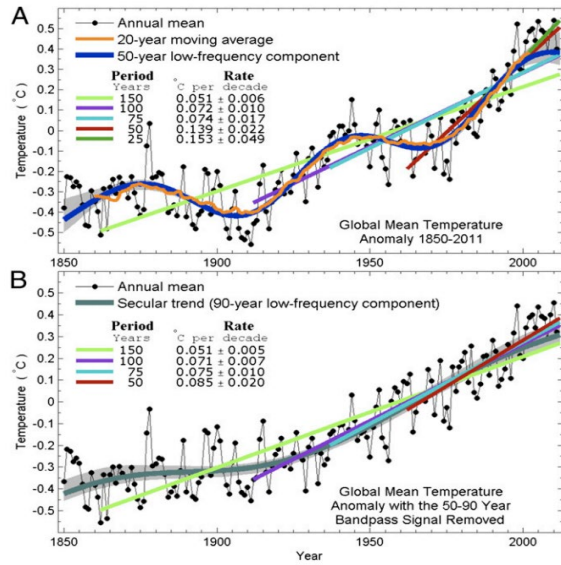
(E)



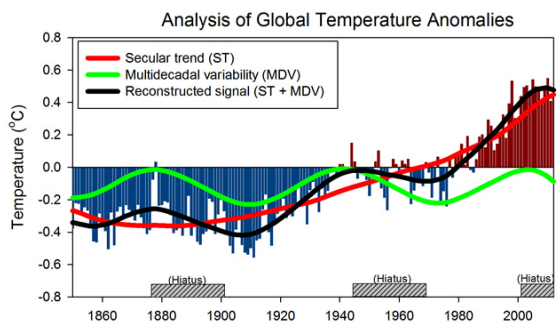
(F)



(G)



(H)



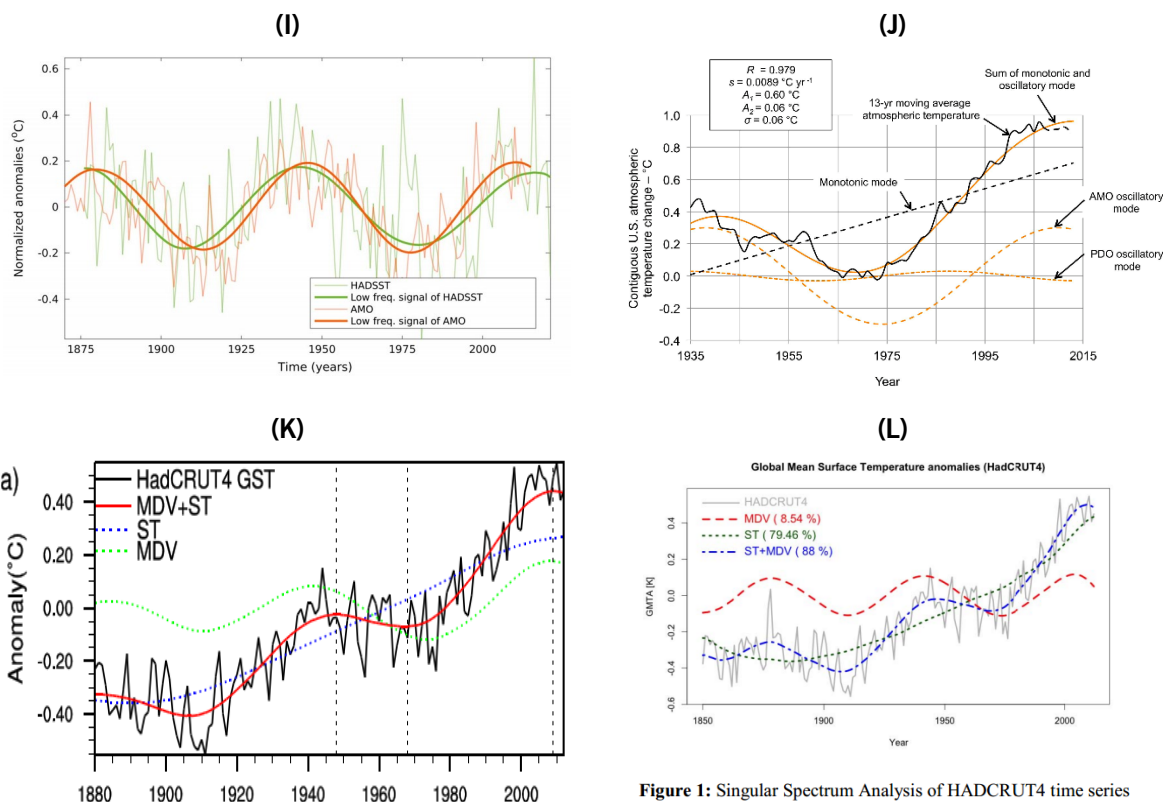


Figure 1: Singular Spectral Analysis of HADCRUT4 time series

**Figura 104** – Modelos alternativos de ajustes a séries de temperatura, evidenciando componente com comportamento oscilatório, conforme apresentado em artigos científicos. **(A)** Ajuste de um ciclo de período de 60 anos adicionado a uma linha reta de inclinação de  $0,6 \text{ } ^\circ\text{C}$  por século aos dados de temperatura média global HadCRUT4. **(B)** Modelo oscilatório, juntamente com taxas lineares de aquecimento global ( $^\circ\text{C}/\text{década}$ ). **(C)** Modelos ajustados à série temporal da temperatura superficial global (linhas marrons) usando apenas a tendência secular (linha vermelha) e a tendência secular + variabilidade multidecadal (linhas verdes); **(D)** Anomalias de temperatura de superfície global, série HadCRUT4, com temperatura anual (linha cinza), variabilidade multidecadal (linha azul), tendência secular (linha vermelha) e combinação das duas anteriores (linha preta). **(E)** Quatro séculos de variação climática, indicando a temperatura mensal da Inglaterra Central (linha vermelha), a temperatura média global (linha azul), a temperatura do hemisfério norte (linha verde), principais erupções de vulcões (linhas verticais cinzas) e variação da radiação solar (linha laranja); **(F)** Painel superior: variabilidade multidecadal das temperaturas globais (linha azul), no Hemisfério Norte (linha verde) e na Inglaterra Central (linha verde); painel intermediário: comparação de temperaturas com o índice da OMA; painel inferior: temperatura na fronteira Atlântico-Ártico (linha verde), sua suavização de 50 anos (linha azul) e temperatura suavizada da Inglaterra Central (linha vermelha). **(G)** Painel superior: temperatura média anual (linha preta), média móvel de 20 anos (linha laranja), componente periódica de 50 anos (linha azul) e diversas tendências lineares para diferentes períodos (retas de cores variadas); painel inferior: dados após a remoção da componente periódica, realçando a tendência secular. **(H)** Anomalia de temperatura da série HadCRUT4 (barras azuis e vermelhas), com componente de tendência secular (linha vermelha), componente de variabilidade multidecadal (linha verde) e soma das duas componentes (linha preta). Os períodos de hiatos são indicados com barras cinza no eixo X. **(I)** Anomalias normalizadas e com remoção de tendência secular das médias anuais da temperatura superficial no Mar Vermelho (linha verde), junto com o índice de da OMA (linha vermelha fina), e seus respectivos sinais de baixa frequência (linhas grossas suavizadas). **(J)** Anomalias de temperatura nos EUA, conforme observações (linha preta) e modelada (linha laranja contínua), obtida por meio da combinação do modo monotônico (linha tracejada preta) com o modo oscilatório (linha tracejada laranja). **(K)** Variabilidade quasi-oscilatória de 60 anos, intimamente associada com a OMA e ODP. **(L)** Oscilação multidecadal (relacionada a ciclos naturais) e uma tendência secular (considerada representativa do aquecimento antropogênico) como produto dos dois sinais principais dentro do

registro da temperatura. Fontes: (A) Gervais (2014, 2016); (B) e (C) Wu et al. (2011)<sup>148</sup>; (D) Macias, Stips e Garcia-Goriz (2014); (E), (F) e (G) Tung e Zhou (2013); (H) EU Science Hub (2016); (I) Krokos et al. (2019); (J) Kurtz (2015) e Curry (2015); (K) Yao, Huang, Wu (2016); (L) Stips et al. (2014).

Assim, a partir do auge, em 2012/2013, da repercussão do caso do recente hiato do aquecimento global, uma série de estudos voltaram seus olhares para em procurar compreender as causas dessa pausa. Para o hiato no aquecimento global, Storch et al. (2013) apresentaram três possíveis categorias de explicações:

1. A variabilidade natural do clima estaria sendo subestimada, o que poderia estar relacionado com variações na absorção de calor pelo oceano e/ou em variações internas do próprio balanço de energia (tais como cobertura de nuvens);
2. Os modelos climáticos poderiam estar excessivamente sensíveis ao aumento dos GEEs, ou seja, a relação entre o aumento de CO<sub>2</sub> não produz tendências lineares diretamente proporcionais no aquecimento global; e
3. O conjunto de forçamentos nas simulações do IPCC e seus modelos (CMIP5 e CMIP6) não tem considerado algum componente de relevância (como influência das oscilações oceânicas).

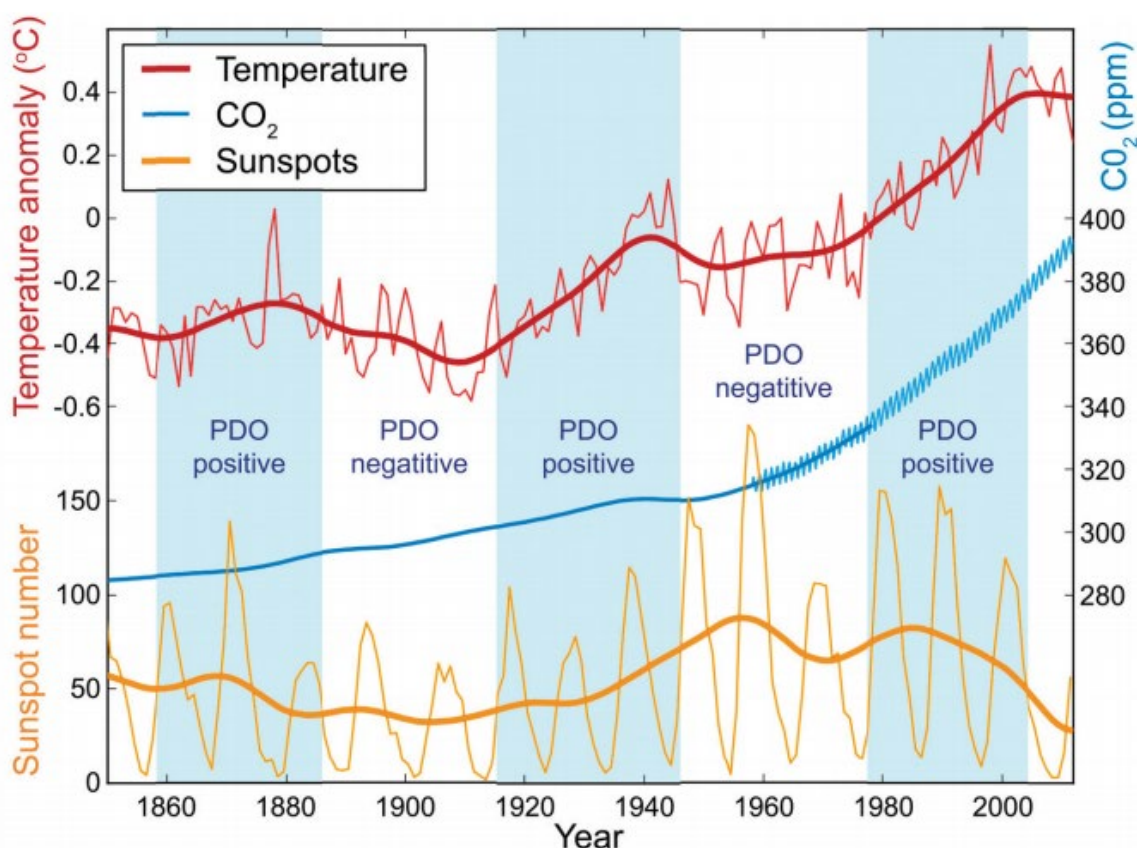
Corroborando tais entendimentos, Meehl, Teng e Arblaster (2014) relatam que o hiato desde o início da década de 2000 é principalmente resultante da variabilidade interna do clima. Além disso, a exagerada a sensibilidade dos modelos quanto ao aumento dos GEEs e contribuições de erupções vulcânicas moderadas ou outros forçamentos indicam que as simulações não tem contabilizado adequadamente todos os aspectos do hiato.

Resgatando ideias antigas, já conhecidas, os novos artigos passaram a endossar a influência das oscilações oceânicas na temperatura global. O estudo de van Geel e Ziegler (2013) indicaram, por meio da **Figura 105**, que as tendências de aquecimento e resfriamento da linha de temperatura global da superfície do século 20 coincidem estreitamente com as fases positivas e negativas do ODP, respectivamente: a fase de resfriamento de 1882-1914 reflete uma fase negativa da ODP; o aquecimento de 1914-1947 coincidiu com uma fase positiva da ODP; leve

---

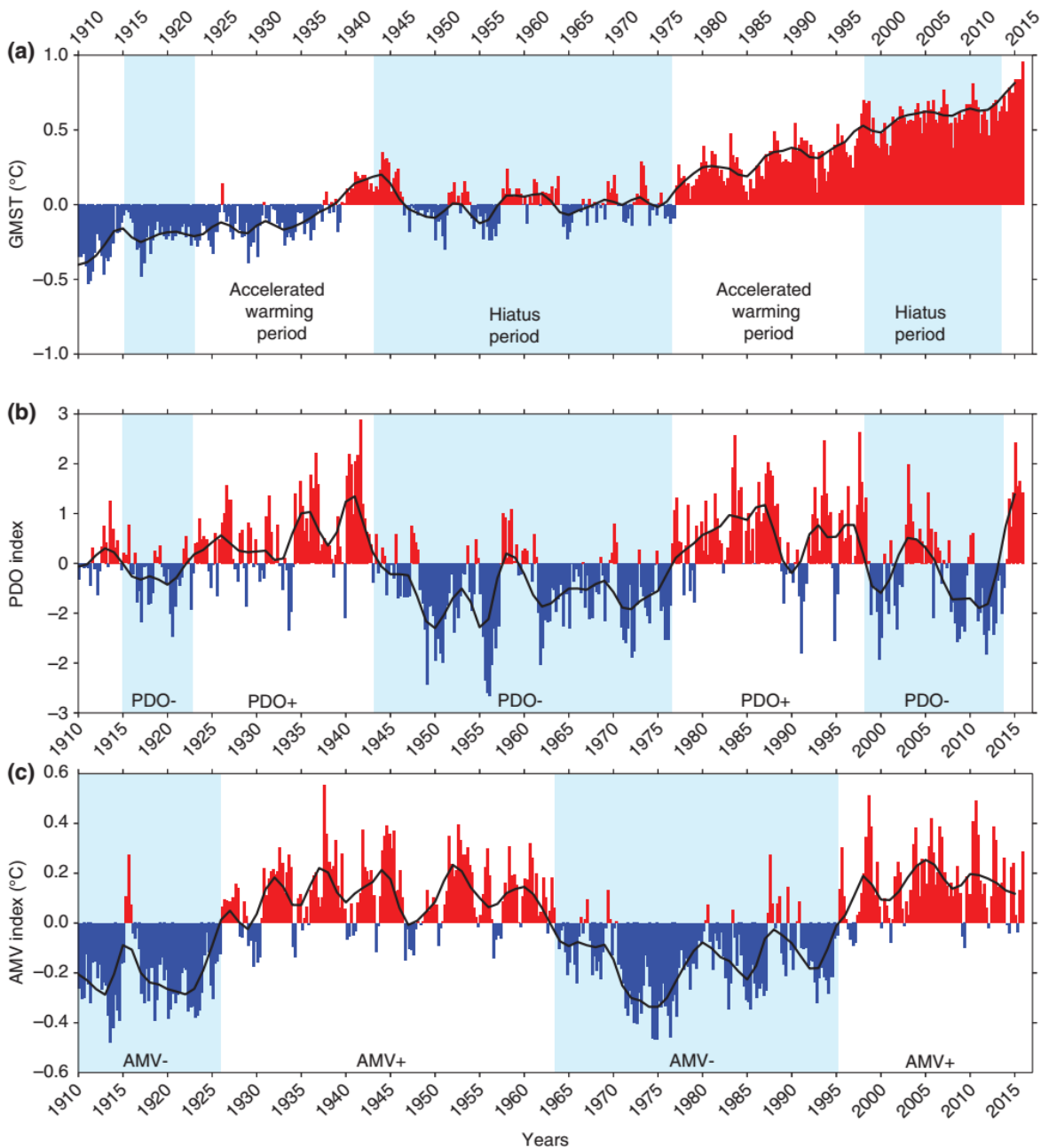
<sup>148</sup> Os autores (TUNG; ZHOU, 2013) sugerem que as tendências antropogênicas do aquecimento global podem ter sido superestimadas por um fator de dois na segunda metade do séc. 20. Uma oscilação multidecadal recorrente – que se estende à era pré-industrial na série de temperatura de 353 anos da Inglaterra Central – é provavelmente uma variabilidade interna relacionada à OMA, possivelmente causada pela variabilidade da circulação termohalina. Segundo os autores, a contribuição solar seria mínima na segunda metade do século 20 e inferior a 10% na primeira metade. Por outro lado, a variabilidade interna multidecadal recorrente, muitas vezes subestimada em estudos de atribuição, seria responsável por 40% da tendência recente de aquecimento observado nos últimos 50 anos.

resfriamento entre 1947 e o final dos anos 1970 coincidiu com uma fase negativa da ODP; o aquecimento subsequente coincidiu com uma fase positiva da ODP; e, por volta de 2005, a ODP mudou novamente para uma fase negativa, contribuindo para o hiato recente, com estagnação e diminuição lenta das temperaturas de superfície.



**Figura 105** – Fases da Oscilação Decadal do Pacífico (áreas intercaladas em azul e branco) comparadas com as temperaturas globais da superfície (linha vermelha), as concentrações atmosféricas de CO<sub>2</sub> (linha azul suave: dados do núcleo de gelo da Antártica; linha azul serrilhada: observatório Mauna Loa) e o número de manchas solares (linhas laranjas). Linhas grossas para temperaturas e manchas solares representam uma suavização por média móvel de 25 anos dos dados brutos. Fonte: van Geel e Ziegler (2013).

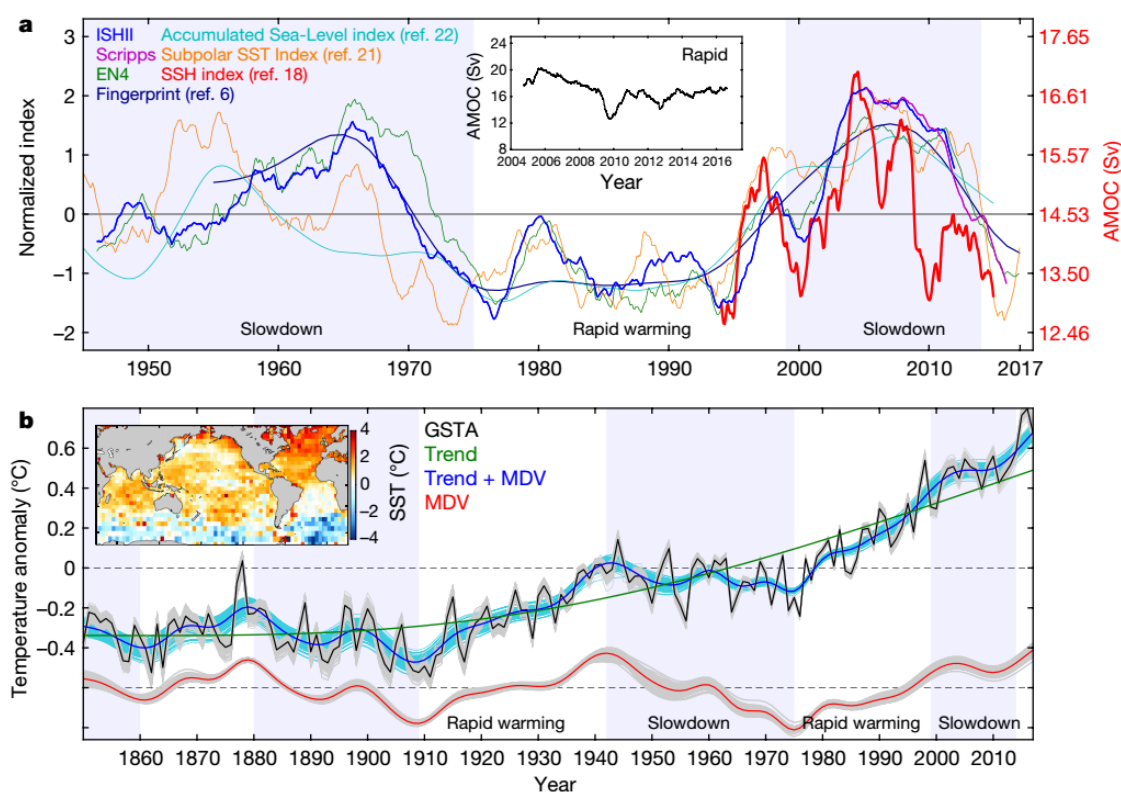
Maher et al. (2014) afirmou que os hiatos não associados a erupções vulcânicas estão vinculados a um resfriamento potencializado no Pacífico equatorial, em especial ligado à transição para uma fase negativa da ODP. Farneti (2017) também indicou que as observações da temperatura superficial global mostram flutuações com décadas sem aquecimento ou mesmo leve resfriamento. Décadas de hiato de aquecimento, características relativamente comuns no nosso sistema climático, são períodos associados a modos naturais de variabilidade nos oceanos Pacífico e Atlântico (**Figura 106**).



**Figura 106** – (A) Anomalias da temperatura superficial global, com indicação de fases de aquecimento acelerado intercaladas com períodos de hiato, apresentando alta correspondência às fases das oscilações oceânicas. (B) Índice da ODP. (C) Índice da Variabilidade Multidecadal do Atlântico (sinônimo de OMA). Fonte: Farneti (2017).

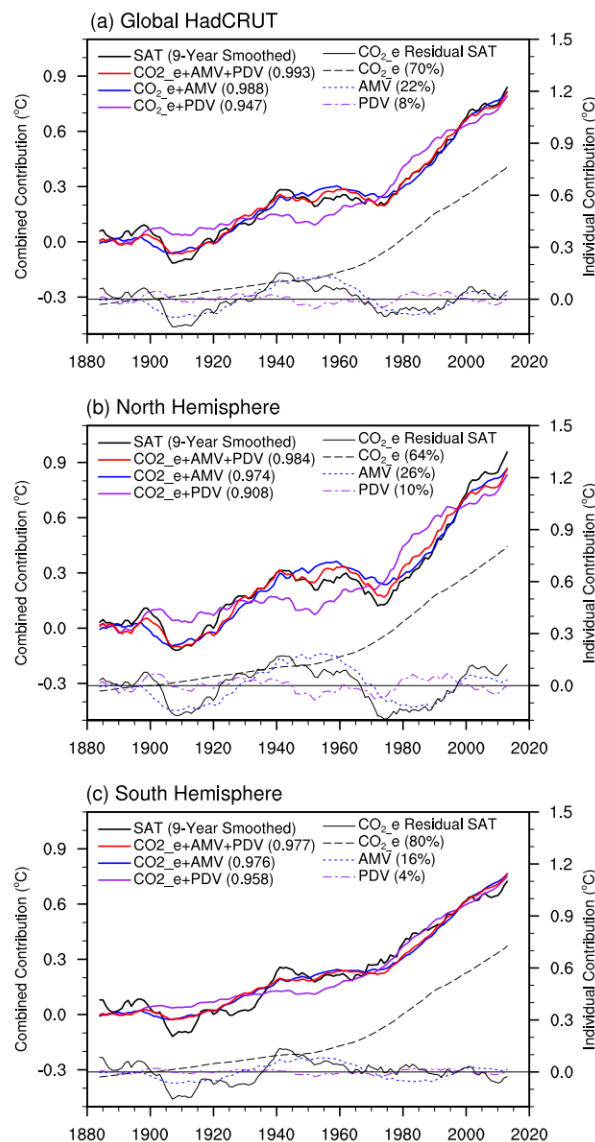
No artigo de Chen e Tung (2018), relata-se que o sistema de correntes oceânicas conhecido como Circulação de Revolvimento Meridional Atlântica (ou AMOC, sigla do inglês para *Atlantic Meridional Overturning Circulation*) pode explicar as mudanças nas taxas de aquecimento da superfície global. Os autores mostram (**Figura 107**) que um ciclo de aumento e depois diminuição da AMOC da década de 1940 até meados da década de 1970 coincidiu com um período de desaceleração do aquecimento global; um período quiescente de fraca AMOC, em

meados da década de 1970 até o final da década de 1990, coincidiu com o rápido aquecimento global; e um aumento na força da AMOC do final de 1990 a 2005, seguido por uma diminuição depois disso, coincidiu com o “hiato” no aquecimento global. De forma mais geral, na presença de aquecimento com efeito de GEEs, o papel dominante da AMOC mudou: o calor que antes era transportado da superfície para o norte, aquecendo a Europa e a América do Norte, passou a ser armazenado no Atlântico mais profundo, ocultando o aquecimento da superfície do planeta como um todo. Durante uma fase de aceleração de meados da década de 1990 ao início de 2000, a AMOC armazenou cerca de metade do excesso de calor globalmente, contribuindo para a desaceleração do aquecimento global. Quando as causas do “hiato” foram investigadas pela primeira vez, o Atlântico não era um lugar óbvio para se olhar. O foco estava no Oceano Pacífico, visto que o Pacífico tropical era um dos únicos lugares onde as temperaturas da superfície não aumentaram durante o período do “hiato”.



**Figura 107** –Variações da AMOC e da anomalia da temperatura superficial média global (ATSMG). **(A)** Força da AMOC das latitudes médias e subpolares, calculada na lat. 41°N usando medições de altimetria (vermelho, média contínua de dois anos, escala de Sverdrup mostrada à direita) e inferida a partir de um testemunho da salinidade subpolar (ISHII, azul escuro; e Scripps, roxo; EN4, linha verde). Em azul escuro, é indicada a impressão digital da AMOC. Em azul turquesa, indica-se o índice do nível do mar acumulado. Em laranja, indica-se o índice SST (temperatura superficial do mar). **(B)** São mostrados as ATSMG partindo da série HadCRUT4.6 (linha preta), a tendência secular não linear (linha verde, próxima da tendência linear de 100 anos) e a variação sobre a tendência para escalas de tempo mais longas do que decadal (Variabilidade Multidecadal – VMD, linha vermelha). A linha azul é a versão suavizada da ATSMG obtida como a soma da tendência secular e da VMD. As linhas esmaecidas ao redor das linhas sólidas são membros do conjunto do HadCRUT4.6, que avaliam a faixa de incerteza dos dados usados nas linhas sólidas. Fonte: adaptado de Chen e Tung (2018).

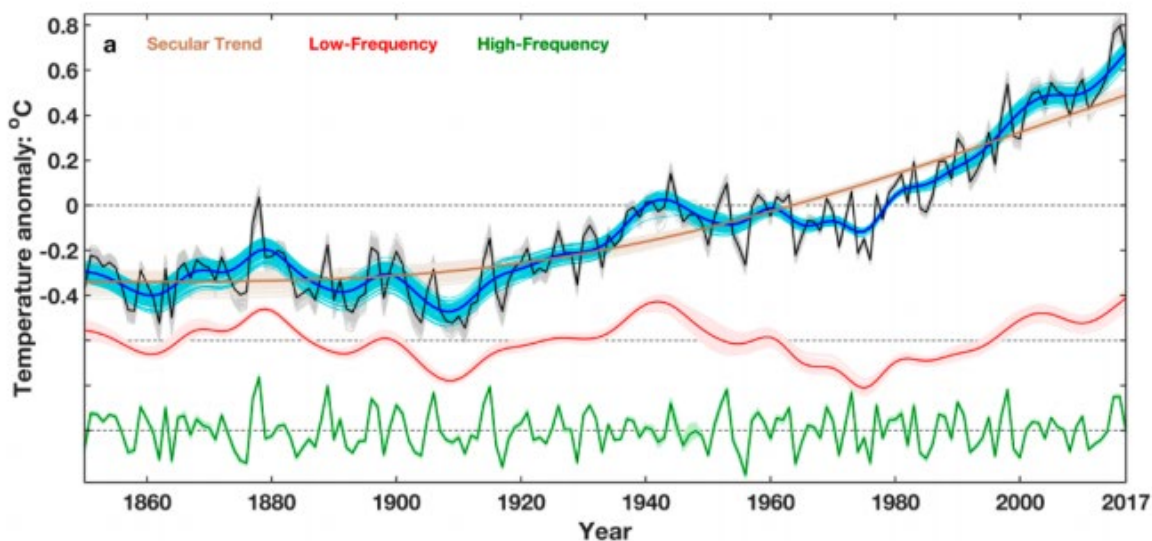
Sobre o aumento da temperatura média global do ar na superfície não ter sido monotônico e consistente somente com o aumento dos GEEs, Wu et al. (2019) apresentam como explicação uma combinação da variabilidade climática decadal natural por conta da variabilidade decadal do Atlântico (VDA) e variabilidade decadal do Pacífico (VDP), cujas variações são exibidas na **Figura 108**. Os autores mostram que as mudanças observadas da temperatura global de 1880 a 2017 em escalas de tempo multidecadais ou mais longas recebem contribuições de cerca de 70% dos GEEs, enquanto VDA e VDP respondem juntas por cerca de 30%.



**Figura 108** – Regressão linear múltipla de  $\text{CO}_2$  equivalente ( $\text{CO}_2_e$ ), VDA e VDP na forma de anomalias de temperatura do ar de superfície média global ou hemisférica. Linhas pretas sólidas denotam a série temporal de anomalias da temperatura superficial (SAT) em relação à média de 1881-1910; Outras linhas sólidas de cor e o número entre parênteses no canto superior esquerdo denotam contribuições compostas de  $\text{CO}_2_e$ , VDA e VDP para a anomalia das temperaturas e seus coeficientes de correlação com a média. Linhas tracejadas e números entre colchetes no canto superior direito denotam a contribuição individual de  $\text{CO}_2_e$ , SAT induzida pela VDA e VDP, e a porcentagem de suas contribuições individuais. O painel (a) é relativo às anomalias de temperatura superficial média global, e os painéis (b) e (c) são para anomalias de temperatura superficial média do hemisfério norte e sul, respectivamente. Fonte: Wu et al. (2019)

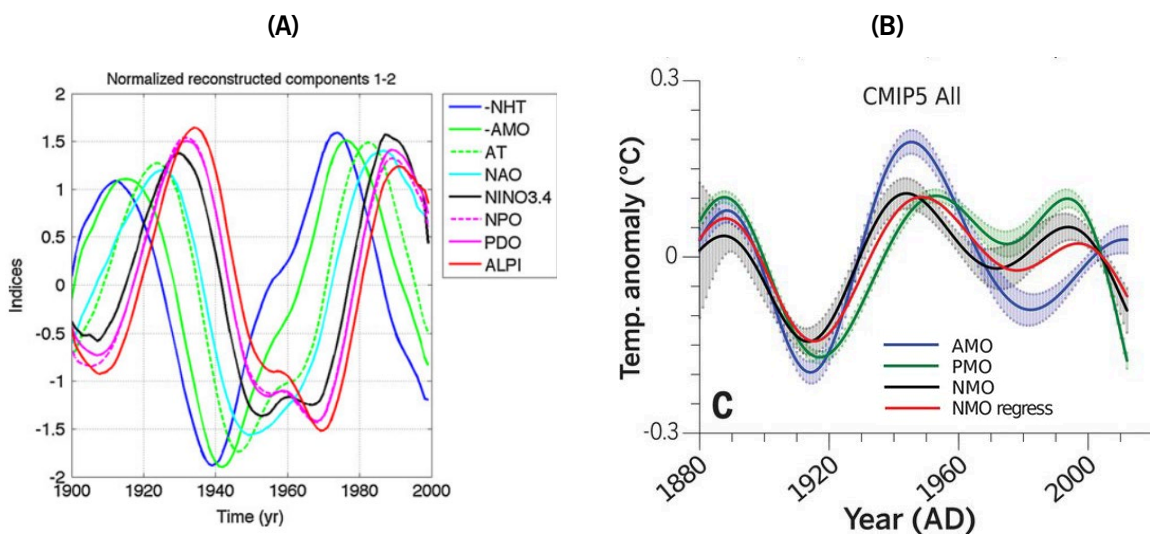


Ao considerar a importância das variabilidades naturais em diferentes escalas, Wei et al. (2019) quantificaram diferentes contribuições na regulação da taxa de aquecimento global. Os resultados mostraram que, em vez de apenas a variabilidade de uma escala controlar a mudança da taxa de aquecimento, as variabilidades nas escalas interanual, interdecadal e multidecadal se combinam para dominar a mudança da taxa de aquecimento global – a **Figura 109** ilustra a decomposição das temperaturas globais nessas diferentes escalas. Especificamente, os autores determinaram que, na escala interanual, o ENOS é responsável pela maior parte da variabilidade de alta frequência da temperatura global. Em escalas de tempo decadais e mais longas, a OMA domina a variabilidade de baixa frequência da temperatura. Embora a ODP afete dramaticamente a mudança climática regional do Pacífico, sua contribuição direta para a variabilidade da temperatura média global é menor do que a influência da OMA. Assim os autores associaram a desaceleração do aquecimento durante 1998-2013 à variabilidade decadal do ENOS e à fase descendente da ODP. Por fim, com base no período e na tremenda inércia térmica do oceano, a OMA atingiu seu pico durante a última década e provavelmente passará para um episódio de declínio que pode persistir por várias décadas. Assim, segundo os autores, esses dois efeitos de resfriamento podem conduzir a outro hiato de aquecimento nas próximas uma ou duas décadas.



**Figura 109** – Decomposição da temperatura média global média anual (em relação à média de 1961–1990): Linha preta: dados de temperatura do HadCRUT4.3. A decomposição da série de temperatura resultou em componentes de alta frequência (mais curta que decadal; em verde; associada ao ENOS) e componentes de baixa frequência (mais longa que decadal, em vermelho; associado à OMA e à ODP). A tendência secular é indicada com a linha marrom. As linhas azuis, que são a soma das linhas vermelhas e marrons, são vistas como uma versão suavizada da série temporal original. A linha azul escura denota a média do conjunto das linhas de cor clara. Fonte: Tung e Chen (2018).

Registros de temperatura refletem um sinal climático quase cíclico de 50 a 80 anos em todo o hemisfério norte, com presença particular no Atlântico Norte. Os estudos de modelagem racionalizam essa variabilidade em termos da dinâmica intrínseca da AMOC, influenciando a distribuição das anomalias da temperatura da superfície do mar no Oceano Atlântico, razão do nome da OMA. Wyatt, Kravtsov e Tsonis (2012), ao analisarem uma estrutura de covariância defasada de uma rede de índices climáticos, detalharam a propagação do sinal da AMO por todo o hemisfério norte por meio de uma sequência de teleconexões oceânicas atmosféricas e defasadas, que os autores chamam de “onda de estádio”<sup>149</sup>. Mudanças iniciais na anomalia de temperatura do Atlântico Norte associada com a OMA culminam em um sinal hemisférico de sinal oposto cerca de 30 anos depois (**Figura 110**). Os resultados apoiam a hipótese de que o OMA desempenha um papel significativo na variabilidade climática hemisférica e, por inferência, também na escala global. Resultado parecido também foi obtido por Steinman, Mann e Miller (2015), os quais identificaram que a OMA e a Oscilação Multidecadal do Pacífico (OMP, que é diferente da ODP) explicam uma grande proporção da variabilidade interna nas temperaturas médias do hemisfério norte.



**Figura 110** – (A) Comportamento de “onda de estádio” na propagação de diversos índices oceânicos, juntamente com as variações de temperatura no Hemisfério Norte (linha azul escuro). (B) Sincronia entre a OMA (linha azul), a ODP (linha verde) e a temperatura no Hemisfério Norte (linhas preta e vermelha). Fontes: (A) Wyatt, Kravtsov e Tsonis (2012); (B) Steinman, Mann e Miller (2015).

<sup>149</sup> Em alusão à coreografia conhecida como “ola” realizada por torcidas dentro de um estádio, onde as pessoas que estão em fileiras sucessivas, em perpendicular ao centro, se levantam, erguem os braços e logo em seguida descem. Esse processo é repetido de modo sucessivo e sincronizado pelas pessoas ao lado das que acabaram de se sentar, gerando, assim, a impressão visual de uma “onda” circulando a arquibancada.

Embora exista um número considerável de modelos que contemplam componentes periódicos nas temperaturas, um número menor de estudos consideraram projetar as tendências incorporando tais ciclos. Na **Figura 111** apresenta-se uma amostra de gráficos contendo projeções futuras das temperaturas globais e regionais.

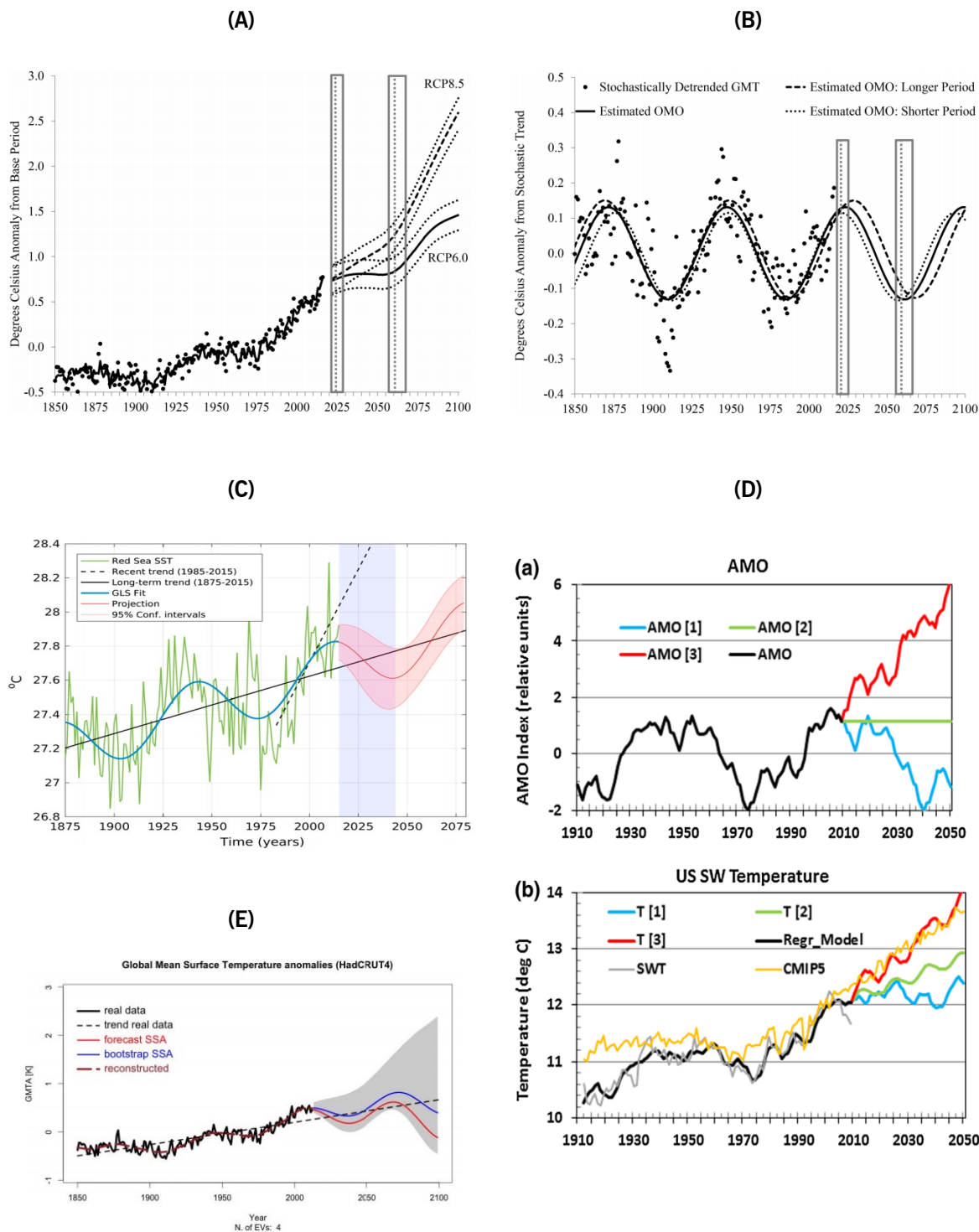
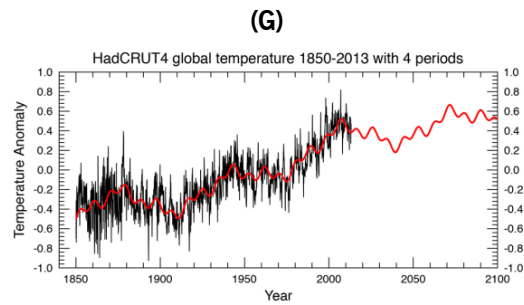
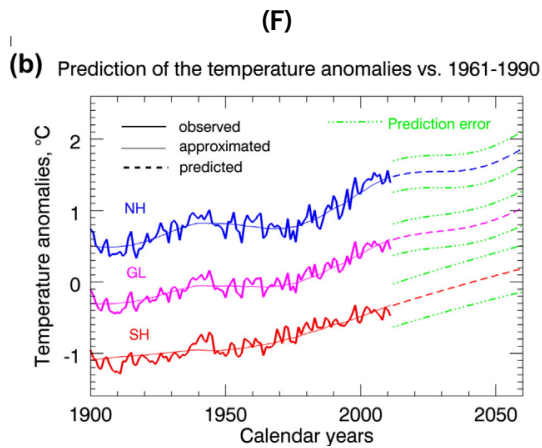
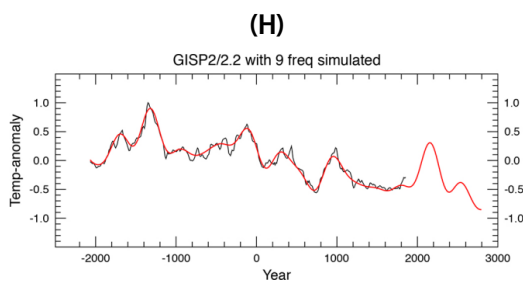


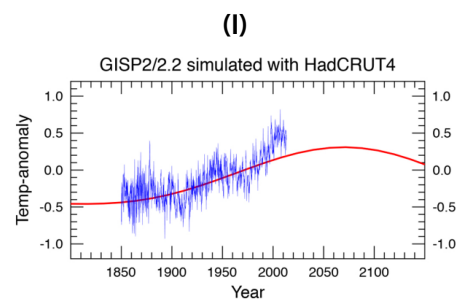
Figure 5: Forecasting using HADCRUT4 time series



**Figure 4.** HadCRUT4 monthly averages of global temperature anomalies compared with a simple model consisting of a linear trend ( $0.0047\text{ }^{\circ}\text{C yr}^{-1}$ ) and four harmonic components with periods 155, 66, 21.6 and 9.14 yr.



**Figure 8.** A simple harmonic model for the GISP2 temperature variations, with extension to 2800 AD.



**Figure 9.** The red curve is the harmonic model based on the GISP2 series (Fig. 8) shifted 85 yr (earlier) and compared with the HadCRUT4 monthly global temperatures including June 2013 (blue).

**Figura 111** – Projeções de anomalias temperatura cujos modelos incorporaram componentes periódicos. **(A)** Previsões (2022 a 2100) das anomalias globais de temperatura considerando dois cenários (RCP8.5 e RCP6.0) associados a oscilações oceânicas. **(B)** Oscilação Multidecadal Oceânica (OMO) de 1850 a 2100 que foi considerada na modelagem do gráfico (A). A OMO indica a mudança na absorção líquida de calor que ocorre em várias bacias oceânicas, ou seja, é a flutuação global da temperatura da superfície do mar resultante de mudanças na circulação termohalina. A influência do ciclo natural da OMO sob a temperatura sugere a possibilidade de um hiato muito mais longo no período de quase 40 anos (2023 a 2061). A polêmica do recente hiato de 15 anos pode ser precursora de um hiato muito mais longo. Se a falta de aquecimento de fato gera dúvidas, 3 décadas sem aquecimento será um longo período para alimentar o ceticismo contra modelos tipicamente exponenciais. **(C)** Média anual da temperatura superficial no Mar Vermelho (linha verde), com ajuste suavizado (linha azul) e projeção de temperatura da superfície do mar com base na superposição de tendências lineares e o sinal de OMA (linha vermelha), delimitada pelos intervalos de confiança de 95% (áreas sombreadas em vermelho). A linha preta sólida representa a tendência baseada no período histórico (1880–2015), e a linha preta pontilhada representa a tendência baseadas no período recente (1985–2015). A área sombreada em azul destaca o período das tendências negativas projetadas. A análise revela uma sequência de tendências alternadas positivas e negativas, com amplitudes semelhantes e uma periodicidade de quase 70 anos associada à OMA. **(D)** Gráfico superior: observações da OMA (linha preta) e três casos considerados de sua projeção futura: [1] ciclo de 65 anos (linha azul); [2] valor constante do valor presente (linha verde); e [3] continuação de aumento conforme tendência de 1975–2010 (linha vermelha); Gráfico inferior: reconstrução da regressão da temperatura no sudoeste dos EUA (linha preta) e três projeções diferentes da temperatura com base nas três projeções futuras da OMA. Também mostra-se a temperatura observada no SE dos EUA (linha cinza) e a média do conjunto de modelos CMIP5 (linha amarelo). **(E)** Previsões baseadas em análise conjunta da tendência secular e da variação multidecadal reproduz o hiato observado e resulta em aumentos de temperatura para 2100 de apenas cerca de  $0,39\text{ }^{\circ}\text{C}$  (acima da temperatura média no período de 1960–1990), valor 5 vezes menor do que os valores projetados pelos modelos do CMIP5, cujas previsões são de um aumento de 2,1

°C para o mesmo cenário. **(F)** Modelo que agrega a influência da OMA, indicando que as temperaturas não irão mudar significativamente até cerca de 2040. **(G)** Temperaturas da série HadCRUT4 (preto) associada com modelo contendo quatro componentes harmônicos com períodos de 155, 66, 21,6 e 9,14 anos. **(H)** Modelo harmônico simples (vermelho) aplicado às variações de temperatura da série GISP2 (preto), com projeções até o ano 2800 d.C. **(I)** Modelo harmônico (vermelho) baseado na série GISP2 [gráfico (H)] deslocado 85 anos e comparado com a série HadCRUT4 (azul) Fontes: (A) e (B) Miller e Nam (2020); (C) Krokos et al. (2019); (D) Chylek et al. (2014); (E) Stips et al. (2014); (F) Werner et al. (2015); (G), (H) e (I) Solheim (2013).

Pela amostra de estudos indicados até aqui, existe um robusto compêndio de estudos corroborando que o hiato atual seja gerado por episódios semelhantes de resfriamento nas bacias do Oceano Pacífico ou Atlântico. Como possíveis causas da periodicidade de cerca de 60 anos observada nas características climáticas, estudos correlacionam possíveis explicações às variações da temperatura global:

Oferecendo diferentes explicações dos fatores causadores das mudanças cíclicas da temperatura global, outros artigos apresentam respectivas possíveis projeções. Lu (2013) argumenta que o aquecimento global poderia ser causado, invés das emissões humanas de CO<sub>2</sub>, pelas emissões de clorofluorocarbonos (CFCs) e raios cósmicos, cuja influência fundamentou uma projeção das temperaturas [**Figura 112-(A)**].

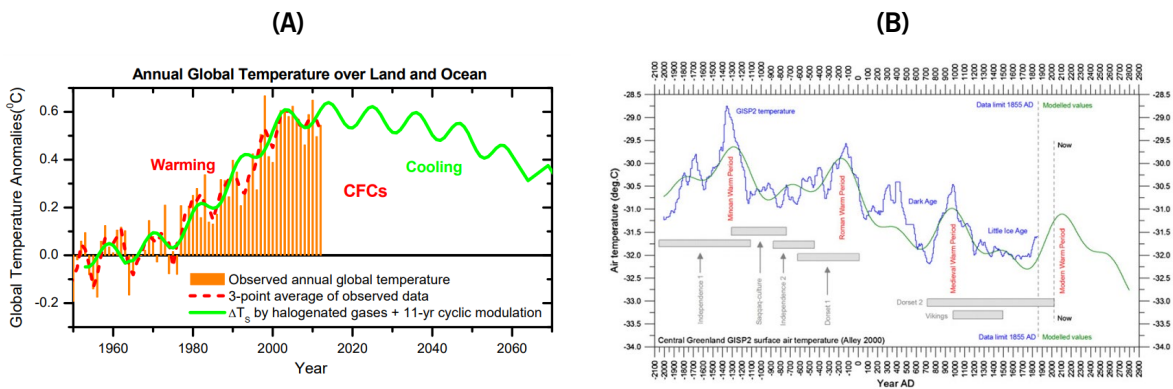
Humlum, Solheim e Stordahl (2011), com base em técnica para identificar o caráter das variações naturais do clima (análises de Fourier e *wavelets*), realizaram a decomposição de séries climáticas para extrair informações sobre os sinais periódicos embutidos nas séries de dados, sua amplitude e variação ao longo do tempo. Ao analisar uma série de temperatura de superfície de 4.000 anos (GISP2), reconstruída do centro da Groenlândia, identificaram várias variações cíclicas do clima que parecem persistentes nas escalas de tempo investigadas. Tais variações naturais persistentes foram usadas na previsão do clima até o ano 2.800 [**Figura 112-(B)**].

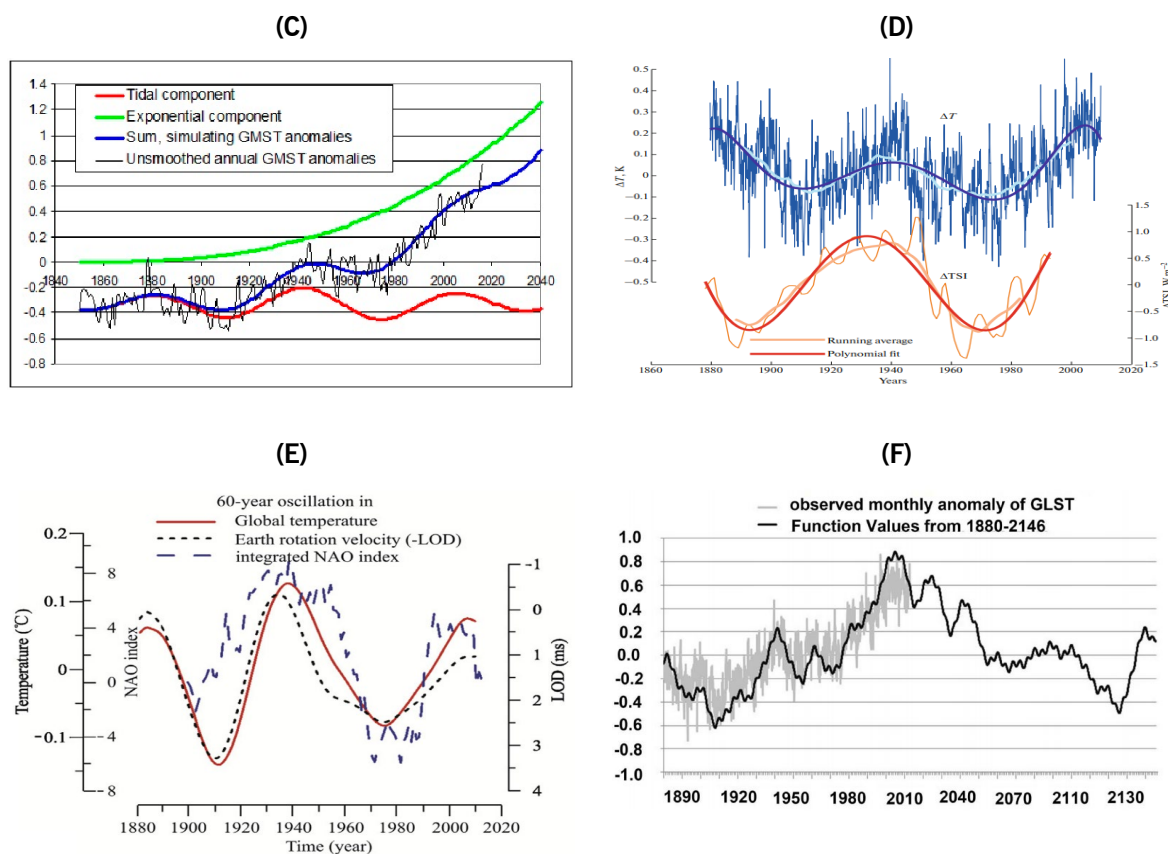
Treloar (2017, 2019) sugeriu a hipótese de que episódios cíclicos podem ser causados por forçamentos de marés externas que geram regimes alternados de circulação zonal e meridional de aproximadamente 30 anos, as quais, respectivamente, aumentam e diminuem as temperaturas superficiais globais por meio de efeitos de maré no sequestro/armazenamento de calor no oceano profundo e a redistribuição de energia. Com base nessa abordagem, os episódios de hiato coincidem com os regimes meridionais. Segundo o autor, o atual regime meridional que afeta as temperaturas médias globais está previsto para continuar até meados de 2030, mas possui uma tendência limitada de diminuir as temperaturas por causa de aumentos contínuos no forçamento radiativo decorrentes dos GEEs atmosféricos [**Figura 112-(C)**].

Veretenenko e Ogurtsov (2018) associam a periodicidade de 60 anos observada nas características climáticas com fenômenos causados pela atividade solar [Figura 112-(D)] e pela variação dos raios cósmicos galácticos, que influenciam na intensidade dos processos ciclônicos em latitudes extratropicais e em mudanças no estado do vórtice e transformações correspondentes da circulação em grande escala.

Outro estudo envolvendo oscilações astronômicas e o clima é apresentado por Zotov, Bizouard e Shum (2016), no qual indica-se que a rotação da Terra e os índices climáticos estão conectados. Os autores decompõem séries temporais climáticas (temperatura e nível do mar) as compara com os parâmetros de rotação da Terra. Na anomalia da temperatura média global da Terra e no nível do mar médio global foram encontradas oscilações periódicas de 20 e 60 anos. Ciclos semelhantes também foram encontrados na variação da rotação da Terra [Figura 112-(E)]. Assim, diante dessa possível inter-relação, os autores conjecturam que, ao longo dos últimos 160 anos, a mudança multidecadal da velocidade de rotação da Terra pode estar correlacionada com a anomalia de temperatura de 60 anos.

Mao et al. (2019) argumentam que o aquecimento global recente seria principalmente resultado de causas naturais. Os autores identificaram 15.295 funções periódicas que se encaixam perfeitamente nas anomalias mensais da temperatura média global de 1880 a 2013. As descobertas indicam que a “máquina de estabilização do oceano” pode representar um fator primário subjacente às mudanças climáticas. A função com melhor resultado de verificação também foi empregada para prever o comportamento futuro da anomalia mensal da temperatura global. O modelo [Figura 112-(F)] apresenta uma tendência de queda nas anomalias da temperatura, que podem atingir o ponto mais baixo de  $-0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  em 2130.





**Figura 112** – Modelos e projeções climáticas com explicações alternativas. **(A)** Temperaturas da superfície global observadas (barras laranjas), com média de 3 pontos (linha vermelha); e modelo considerando as contribuições do efeito estufa de halocarbonos com variação cíclica de 11 anos, (linha verde), com projeção até 2070. **(B)** Temperatura da superfície da Groenlândia Central (série GISP2) nos últimos 4000 anos (linha azul) e dados modelados previstos a partir de ciclo natural (linha verde). O tempo de certos períodos históricos quentes na Europa é mostrado em texto vermelho, e o tempo das culturas da Groenlândia é mostrado em cinza. **(C)** Decomposição da temperatura (linha azul) em componente periódico de 60 anos (linha vermelha) e componente exponencial (linha verde); **(D)** Variações das anomalias de temperatura global ( $\Delta T$ ) e da irradiância solar total, após remoção de tendências; **(E)** Variações da velocidade de rotação da Terra (linha pontilhada preta), índice da Oscilação no Atlântico Norte (OAN) e componente de 60 anos das mudanças de temperatura da Terra; **(F)** Anomalias (1880-2013) da temperatura global da superfície terrestre (linha cinza) e modelo periódico de ajuste (linha preta), com projeção até 2145. Fontes: (A) Lu (2013); (B) Humlum, Solheim e Stordahl (2011); (C) Treloar (2017, 2019); (D) Veretenenko e Ogurtsov (2018); (E) Zotov, Bizouard e Shum (2016); (F) Mao et al. (2019).

Por fim, os resultados de Yao et al. (2019) sugerem que o recente hiato observado na taxa de aquecimento global muito provavelmente se prolongará por vários anos, devido à fase de resfriamento da oscilação de quase 60 anos sobreposta à tendência de aquecimento secular.

Pelo exposto, depreende-se que, para estimar, com um certo grau de confiança, a contribuição antropogênica entre os sinais climáticos nas décadas passadas e futuras, é necessária a compreensão da variabilidade interna natural em escalas de tempo interdecadais, bem como sua incorporação nas simulações dos modelos e projeções. Ao embarcar no desafio da previsão

decadal, deve-se ser capaz de atribuir eventos a processos e fenômenos conhecidos e reproduzir suas características e estatísticas nos modelos.

Até o momento, os modelos convencionais conseguiram reproduzir apenas parcialmente padrões espaciais, estatísticas e impactos climáticos dos modos interdecadais de variabilidade. Para alcançar qualquer progresso, a comunidade de modelagem climática deve se concentrar em melhorar a representação e a parametrização dos principais processos físicos do oceano e obter um domínio mais firme sobre os mecanismos físicos que geram a variabilidade climática global e regional.

### 3.2.4. Modelos climáticos alternativos, baseados em análise espectral

Dos diversos modelos climáticos periódicos apresentados anteriormente, todos têm em comum a fundamentação no *método de previsão por similaridade*<sup>150</sup>. No entanto, cada um dos modelos difere conforme diferentes níveis da complexidade da análise envolvida. A primeira categoria refere-se a modelos mais simples, a exemplo dos trabalhos de Easterbrook e Akasofu. Seus modelos se mostraram como ajustes aproximados e “artesanais”, contando somente a

---

<sup>150</sup> De modo simples, o *método de previsão por similaridade* trata-se de tentar comparar os cenários atuais com o que já aconteceu no passado ou com dados que já estão estabelecidos. A comparação de eventos semelhantes ocorridos em tempos distintos está alicerçada no princípio do *Uniformitarismo Metodológico*, ou *Atualismo* (conforme explicado no item “1.3.2. Ciclos, Uniformitarismo e Atualismo”, p. 73), ou seja, se um determinado fenômeno aconteceu no passado segundo determinadas leis físicas e condições da natureza, e se tais características reguladoras dos fenômenos naturais se mantêm uniformes ao longo do tempo, então é provável que novos eventos possam acontecer de novo de forma semelhante. Aproximações visuais, a exemplo dos trabalhos de Easterbrook e Akasofu, podem ser classificadas como *método de previsões por similaridade visual arbitrária*, isto é, nessa categoria *ad arbitrium*, os ajustes são visualmente estimados pelo idealizador. Não se deve, no entanto, interpretar o arbítrio como algo puramente aleatório ou sem critério, desde que haja fundamentação compatível e razoável em cada caso. Já sob a ótica moderna, conforme adotado por Siqueira e Molion (2015), o *método de previsão climática por similaridade determinística* consiste na aplicação de técnicas estatísticas e observacionais sob a hipótese que o clima atual e sua variabilidade são semelhantes a um dado modo climático passado. Portanto, a previsão avalia o estado atual do clima global utilizando a análise de dados históricos, índices climáticos derivados e suas aparentes periodicidades, na tentativa de identificar, em épocas passadas, estados ou modos climáticos semelhantes ao atual. Sobre a terminologia aqui proposta como *método de previsões por similaridade visual arbitrária* ou *determinística*, ressalva-se que “determinística” não deve remeter à ideia generalizada de exatidão da previsão. Ambos os casos de previsão, arbitrária e determinística, possuem inerentemente aspectos *probabilísticos* (aleatórios) envolvidos. Tratando-se de indicações de futuras situações climáticas, mesmo o caso da *previsão determinística* não implica necessariamente em algum tipo de determinismo inequívoco ou certeza absoluta da ocorrência do cenário no futuro. Em outras palavras, a previsão é considerada determinística devido ao fato de ela ser perfeita em realizar exatamente o cálculo matemático/estatístico conforme o modelo concebido previamente à previsão. Todos os pesquisadores possuem limitações na concepção e parametrização de modelos, embutindo margens de subjetividades em uma ampla diversidade de possibilidades de prognósticos. Logo, é sabido que todos os modelos contêm incertezas e limitações intrínsecas que impõem o inevitável fator probabilístico, por se tratarem de simplificações e aproximações de uma realidade eminentemente complexa. Portanto, todo modelo possui um indissociável aspecto probabilístico associado e, mesmo que a previsão seja do tipo determinística, perfeita e matematicamente calculada, todo e qualquer resultado de projeções incorpora o aspecto da probabilidade de ocorrer ou não conforme o prognosticado.



expressão gráfica decorrente da experiência do especialista em traçar “à mão” as projeções de mudanças futuras de temperatura, com base nas variações do passado. Ainda que as projeções visuais tenham sido baseadas em algumas inferências causais – principalmente associando as mudanças de temperaturas com prováveis variações de oscilações oceânicas – muitas das previsões demonstraram-se parcialmente frustradas. Algumas delas projetaram períodos e tendências de resfriamento para os últimos anos, o que não ocorreu.

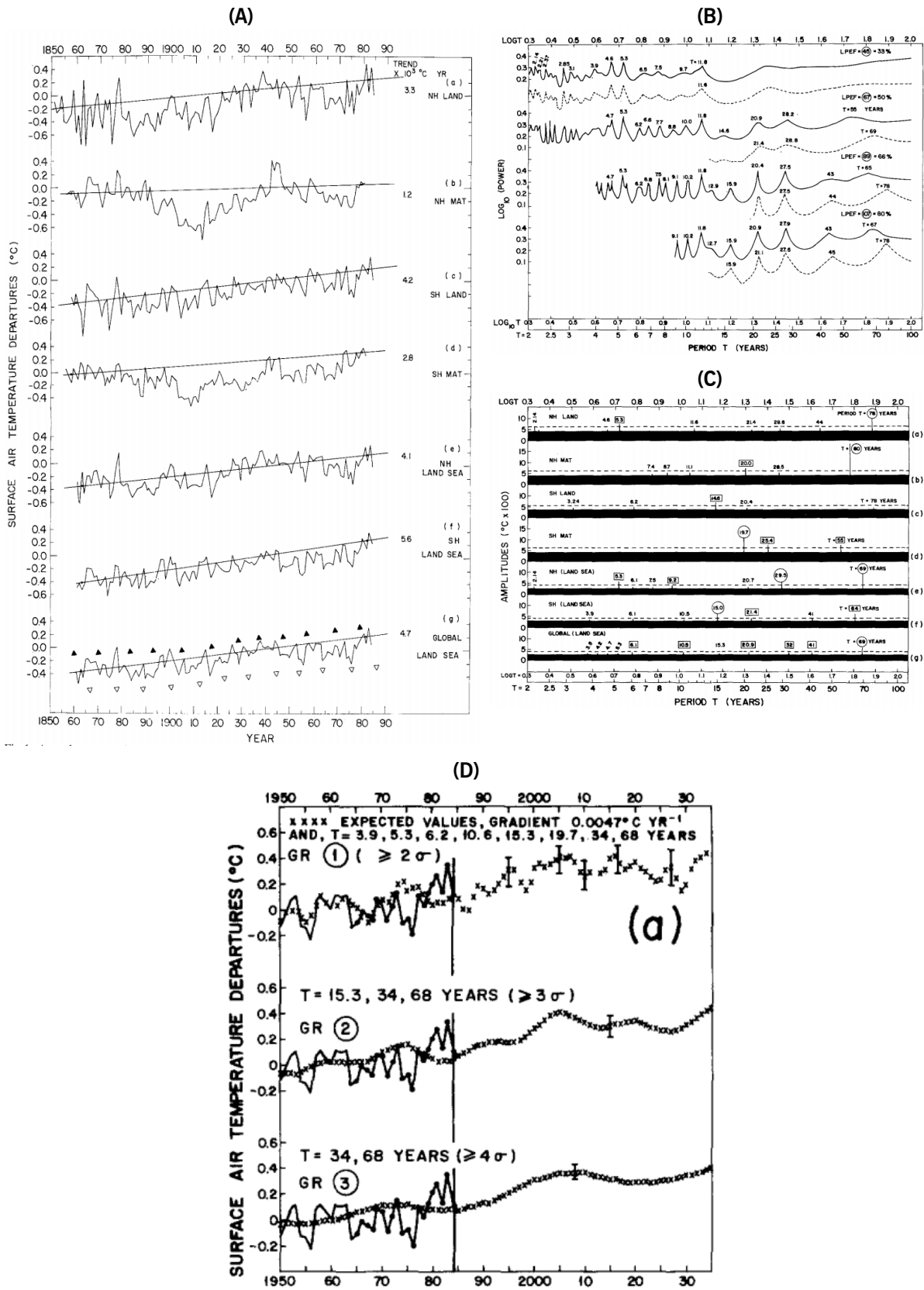
Aumentando o nível de complexidade, uma segunda categoria de modelos agregou fundamentos estatísticos na análise dos dados, permitindo variados ajustes matemáticos com representações visuais e gráficas mais refinadas e precisas, oferecendo também variadas outras projeções de temperatura.

Por fim, a terceira categoria de modelos está atrelada ao uso de técnicas estatísticas mais avançadas, denominadas como *análise espectral* (ou *análise harmônica*<sup>151</sup>), as quais permitem identificar e caracterizar componentes periódicos de modo bastante eficiente. Revelando, de modo nítido e bem delimitado, fortes correspondências de causalidade entre variações cíclicas da temperatura e fatores subjacentes, na sequência serão abordados alguns estudos típicos desse terceiro gênero de modelos.

Parecendo ser o mais antigo estudo do gênero acima descrito, Kane e Teixeira (1990) avaliaram séries anuais de temperatura média da superfície para massas continentais e oceânicas nos hemisférios norte e sul, bem como para o nível global [Figura 113-(A)]. Após análise espectral de máxima entropia [Figura 113-(B)], foram encontrados períodos significativos sobrepostos nas faixas: 5-6 anos, 10-11 anos, 15 anos, 20 anos, 28-32 anos e 55-80 anos [Figura 113-(C)]. Com base nesses períodos, os autores produziram um modelo que permitiu realizar a extrapolação para futuro (2000-2030), conforme se destaca na Figura 113-(D).

---

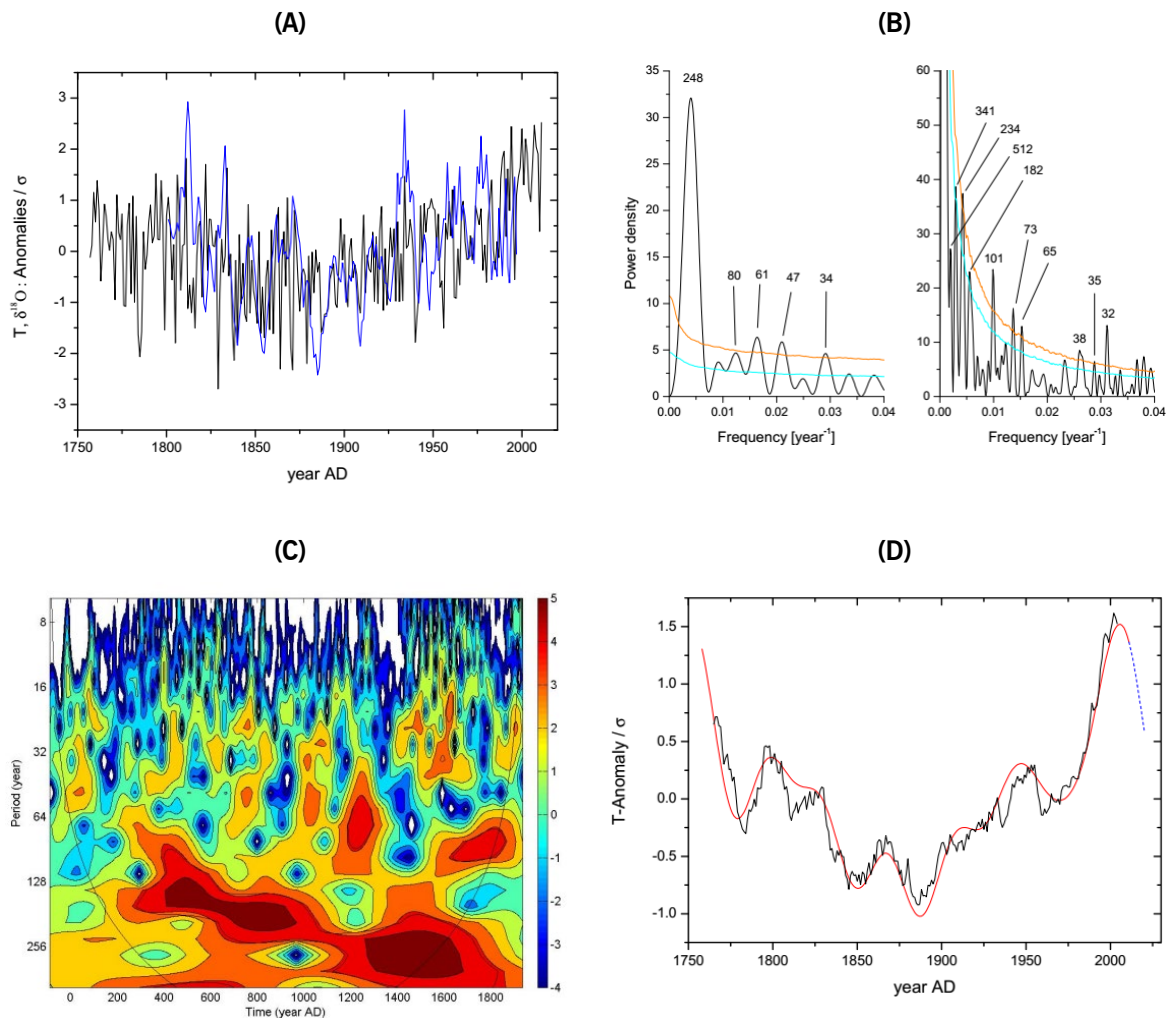
<sup>151</sup> A ser detalhada no CAPÍTULO 4, p. 309.



**Figura 113** – Análise espectral e resultados de Kane e Teixeira (1990). **(A)** Gráficos das temperaturas, período 1851-1984 (de cima para baixo): hemisfério norte (continente); hemisfério norte (oceanos); hemisfério sul (continentes); hemisfério sul (oceanos); hemisfério norte (continente+oceano); hemisfério sul (continente+oceano); e todo globo (continente+oceano). **(B)** Espectro de máxima entropia para o hemisfério norte (continente+oceano); **(C)** Períodos significativos para as várias séries de temperatura de superfície, indicando as

amplitudes dos vários picos e níveis de confiança: a parte preta envolve o nível de  $2\sigma$  *a priori*; a linha tracejada indica o nível de  $3\sigma$  *a priori*; os números em retângulos representam períodos significativos em um nível de  $3\sigma$ ; e os números em círculos representam períodos significativos em níveis superiores a  $4\sigma$ . **(D)** Valores observados e esperados para a temperatura global do ar na superfície, de 1950 até 2030. Linhas contínuas representam os valores observados até 1984. As cruzes representam os valores esperados, usando uma tendência de aquecimento linear de  $0,0047$  °C/ano e períodos de vários níveis de significância conforme indicado. As barras verticais representam  $\pm 2\sigma$ , ou seja, limites de confiança de 95%. Obs.: a baixa qualidade da imagem é uma característica da própria fonte. Fonte: Kane e Teixeira (1990).

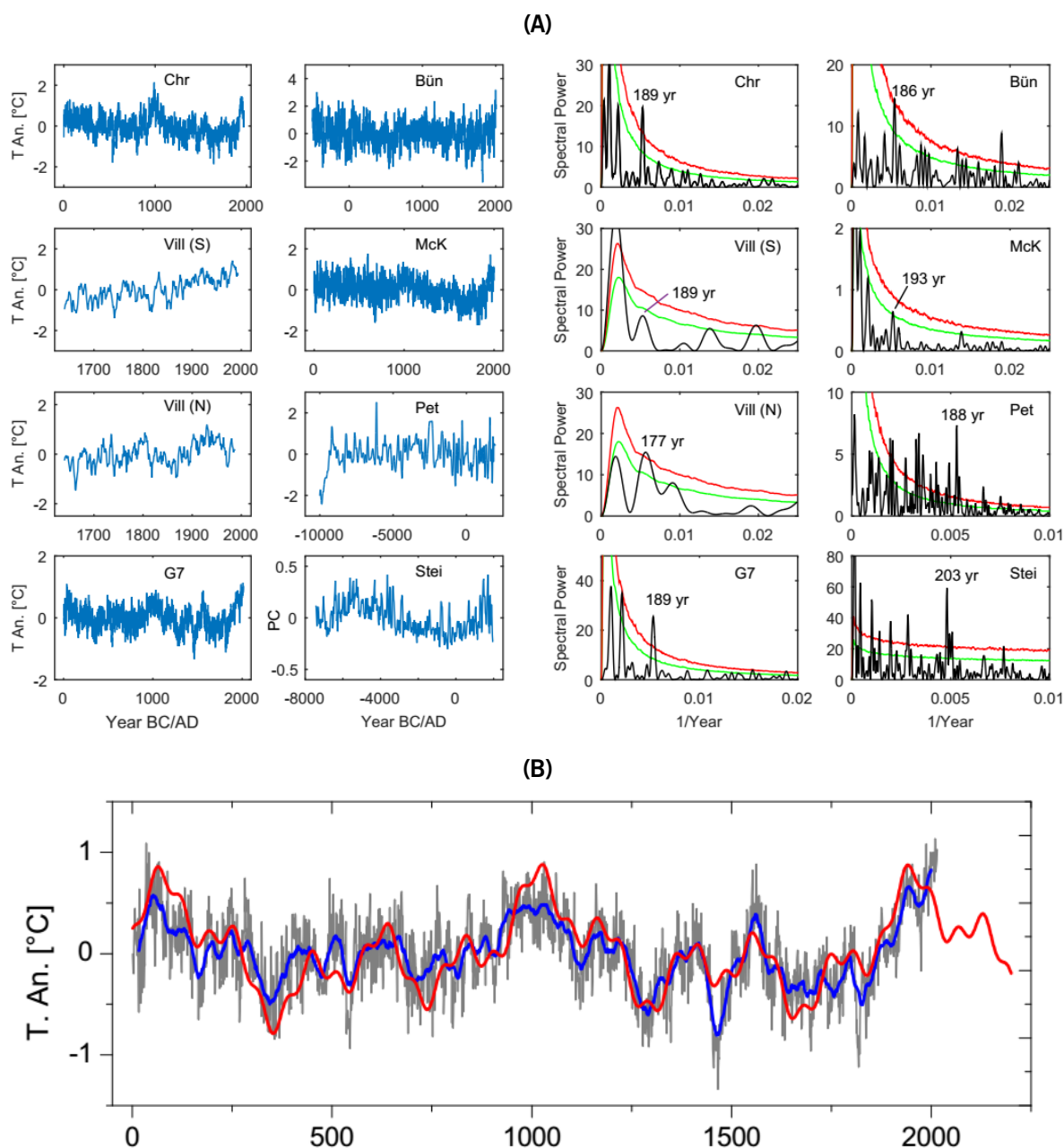
Lüdecke, Hempelmann e Weiss (2013) analisaram os seis registros mais longos de temperatura instrumental registrados na Europa, que alcançam até o ano 1.757 d.C., juntamente com série temporal de temperatura de testemunhos de núcleos de gelo da Antártica [**Figura 114-(A)**] e série de reconstrução obtida por registro de estalagmite nos Alpes austríacos. Considerando que todas as séries possuíam, em geral, as mesmas formas características, os autores assumiram o padrão de variações da temperatura como um fenômeno global. Utilizando técnicas de análise espectral – como Transformada Discreta de Fourier (TDF) [**Figura 114-(B)**], ondaletas (*wavelets*) [**Figura 114-(D)**] e a Análise de Flutuação Destendenciada (AFD) – obteve-se a decomposição harmônica das séries de temperatura. Com base na identificação de seis frequências significativas (ciclos de 254, 85, 64, 51, 42 e 36 anos), os autores concluíram que a dinâmica do clima é governada por oscilações periódicas. A qualidade da reconstrução sugeriu a previsão de mudanças de temperatura no futuro próximo [**Figura 114-(D)**]. A previsão de uma queda de temperatura resulta essencialmente do ciclo de 64 anos, oriundo das oscilações do Atlântico (OMA) e do Pacífico (ODP). Os quatro períodos do ciclo de 64 anos, claramente visíveis na **Figura 114-(D)**, são indícios de que as periodicidades observadas resultam de dinâmicas climáticas intrínsecas, especialmente quanto à influência dos oceanos. Agregando contribuições de Steinhilber e Beer (2013), os supracitados autores afirmam em Lüdecke e Weiss (2013) que os ciclos de períodos de mais de cerca de 200 anos e 65 anos determinam praticamente por completo as mudanças climáticas. Todos os outros ciclos seriam mais fracos e os processos aperiódicos não desempenham qualquer papel significativo. Ou seja, o ciclo solar de De Vries (200 anos) em conjunto com o ciclos OMA e ODP (65 anos) determinam praticamente por completo o clima global do passado, o que excluiria qualquer influência significativa do  $\text{CO}_2$  no clima. Os autores argumentam que a atividade solar possui alta combinação com o clima terrestre. Nesse sentido, o período de mais de 200 anos das atividades solares e das temperaturas, atualmente em seus máximos, podem sofrer uma diminuição até 2100, atingindo valores como o da última Pequena Era do Gelo de 1870.



**Figura 114** – (A) Registro da temperatura do Hemisfério Norte (Europa Central) conforme média (M6) de seis séries instrumentais (linha preta), junto com o registro de testemunhos de núcleos de gelo da Antártica (linha azul) como uma contraparte do Hemisfério Sul, cada um como uma anomalia dividida pelo desvio padrão. (B) Painel esquerdo: TDF da M6; painel direito: TDF para a série de registro de estalagmite. A linha de confiança superior (marrom) é de 95%, a inferior (ciano) de 90% contra o ruído de fundo. Os picos mais relevantes são indicados pela sua duração de período. (C) Espectro de *wavelet* (Morlet) do registro da série de estalagmite, interpolado para o período 90 a.C. até 1.935 d.C. A linha preta sólida em ambos lados da figura é o cone de influência (abaixo do cone de influência, os resultados não são significativos). Na região de tons vermelho escuro, o espectro mostra que a densidade de potência é transferida com o tempo do ciclo de cerca de 125 anos para o ciclo de 250 anos (duplicação do período). (D) Registro da temperatura média SM6 (linha preta); modelo de ajuste de temperatura (linha vermelha); e projeção de temperaturas futuras no Hemisfério Norte (azul tracejada), principalmente devido à periodicidade de 65 anos. Fonte: Lüdecke, Hempelmann e Weiss (2013)

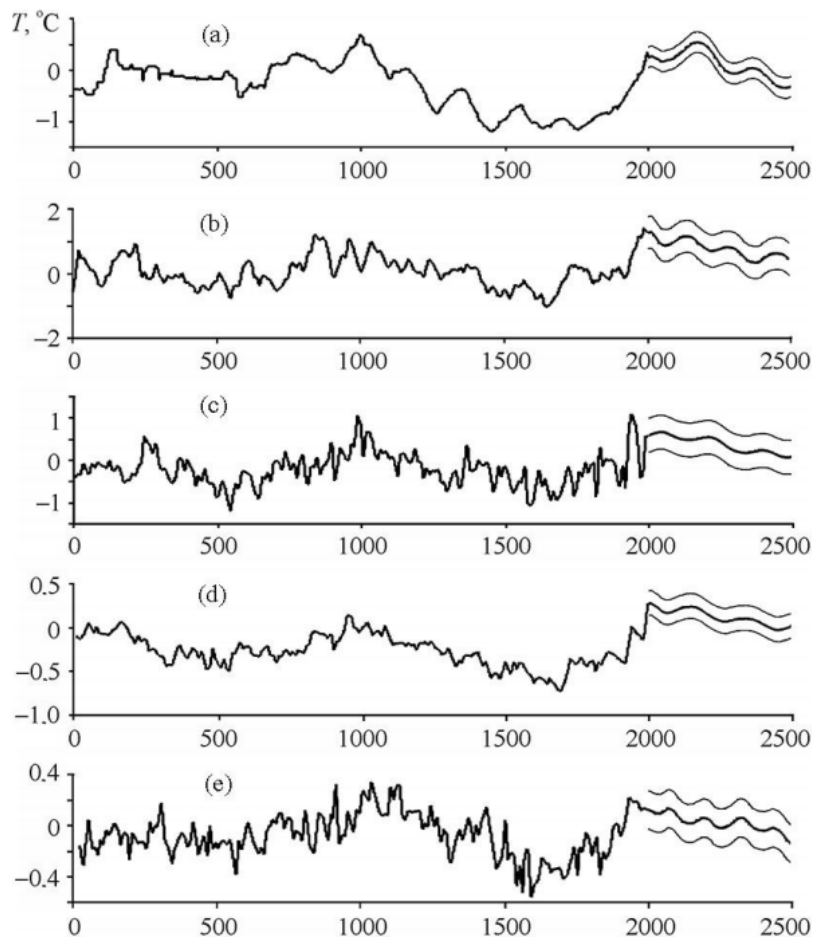
Na mesma linha de investigação, os retrocitados autores analisaram, em novo estudo (LÜDECKE; WEISS, 2017), um grande número de testemunhos de temperatura em todo o mundo para construir uma temperatura global média nos últimos 2.000 anos. Com base em espectros de Fourier [(Figura 115-(A)], identificaram os componentes mais fortes com períodos aproximados de 1.000, 460 e 190 anos. Os extremos da temperatura global coincidem com os períodos quente romano, medieval e atual, bem como a Pequena Idade do Gelo. A soma dos três

ciclos dominantes foi capaz de reproduzir o clima com uma alta correlação. Em particular, a soma dos três ciclos mostra o aumento da temperatura de 1850 a 1995 como resultado dos três ciclos naturais. Como os ciclos dominantes persistiram por um longo tempo, pode-se supor que eles persistirão por um futuro próximo. Assim, por meio de projeção das temperaturas globais até o ano 2.200, os autores elaboraram uma previsão com tendência de resfriamento no longo prazo [Figura 115-(B)].



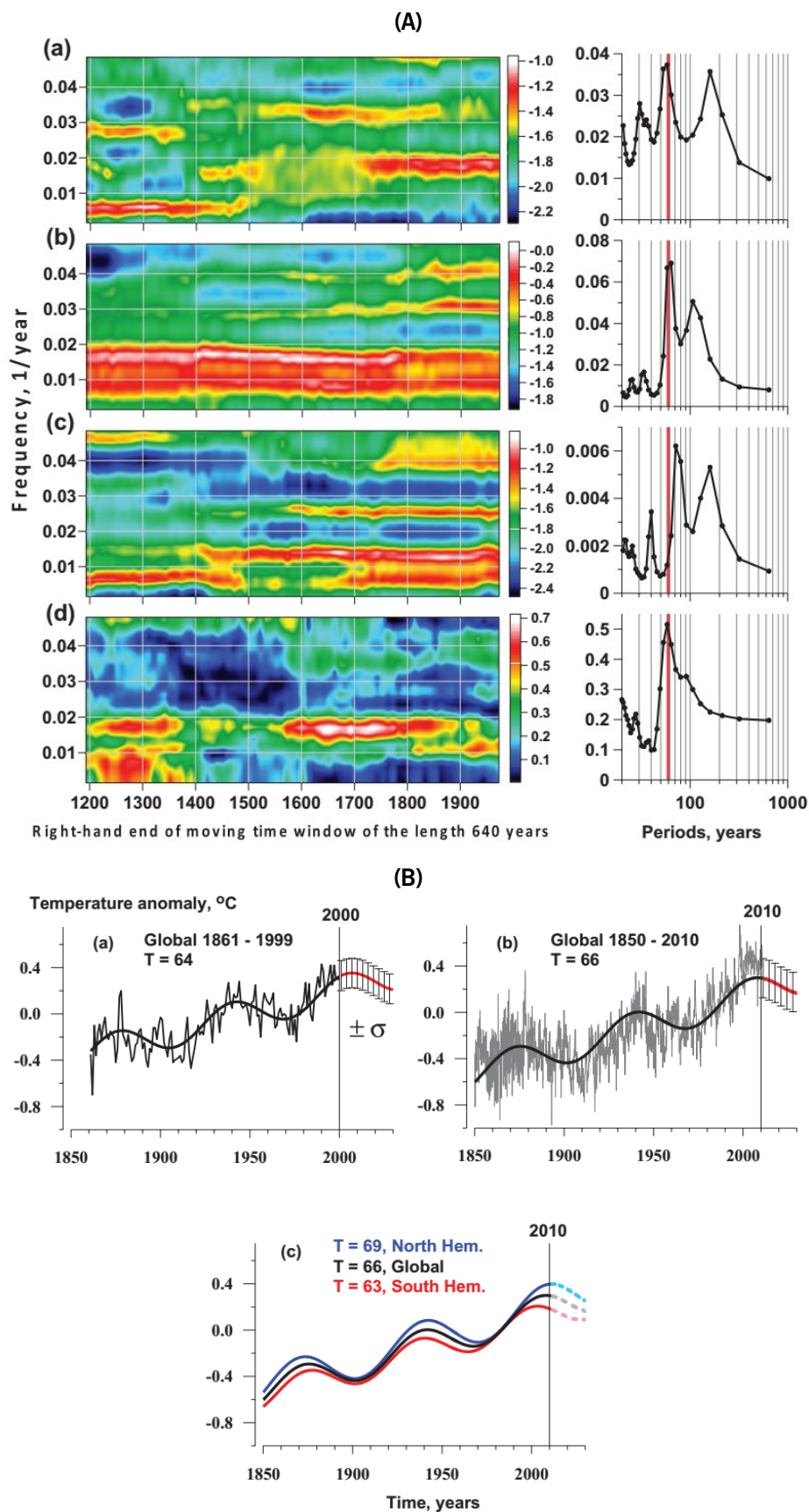
**Figura 115** – (A) Painéis à esquerda: registros de anomalias de temperatura de diferentes conjuntos de testemunhos, bem como da média global composta (G7). Painéis à direita: respectivos espectros de Fourier, destacando o período do pico mais forte de cerca de 190 anos. (B) Registro global (linha cinza), com respectiva média de 31 anos (linha azul), e representação de modelo senoidal composto por três funções seno com períodos de 1.003, 463, 188 e 60 anos (linha vermelha), projetado até o ano 2.200. Fonte: Lüdecke e Weiss (2017).

Ao estudar cinco reconstruções paleoclimáticas para o hemisfério norte extratropical, Babich et al. (2016) realizaram decomposição das séries usando métodos de análise espectral e obtiveram a existência de periodicidades de cerca de 1.000, 500, 350 e 200 anos. Com base nas quase-periodicidades identificadas, realizaram projeções climáticas (**Figura 116**) que demonstram que o clima quente atualmente observado pode sofrer resfriamento gradual ao longo dos próximos 500 anos.



**Figura 116** – Diferentes paleoreconstruções e respectivas projeções de anomalias de temperatura, relativas ao hemisfério norte extratropical, para os próximos 500 anos. **(A)** Lago Teletskoe. **(B)** Nordeste da Europa. **(C)** China. **(D)** e **(E)** Hemisfério norte, duas diferentes reconstruções. Fonte: Babich et al. (2016).

Considerando as variações do clima com períodos dentro de faixa de 60-70 anos, Lyubushin e Klyashtorin (2003) analisaram as reconstruções: das temperaturas médias de inverno na Groenlândia; das anomalias de temperatura na Suécia; e da estimativa de umidade no sul da Califórnia – as duas últimas estimadas por anéis de árvores. Após análise espectral cobrindo o intervalo de tempo 553-1973 d.C., os autores comprovaram a existência de variações climáticas cíclicas com o referido período [**Figura 117-(A)**]. Com base na aplicação da tendência cíclica de 66 anos, foi elaborada a projeção da anomalia de temperatura global para até 2030 [**Figura 117-(A)**], cujo comportamento esperado é de leve resfriamento global.

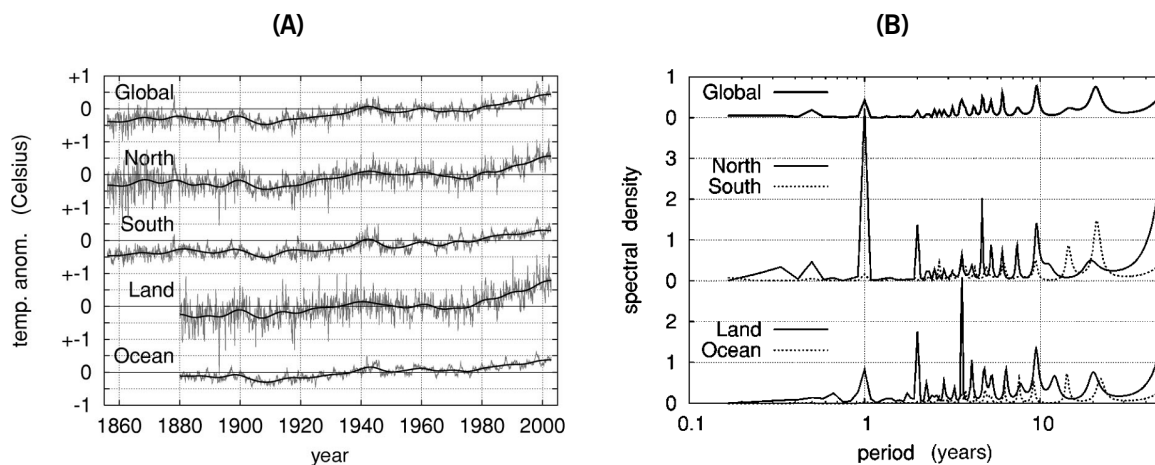


**Figura 117** – Análise espectral das séries de reconstruções climáticas. **(A)** À esquerda: diagramas de tempo-frequência, onde o último diagrama apresenta a evolução da medida de coerência espectral múltipla dos sinais das três séries; À direita: estimativas de densidade espectral média dos sinais. As linhas vermelhas verticais

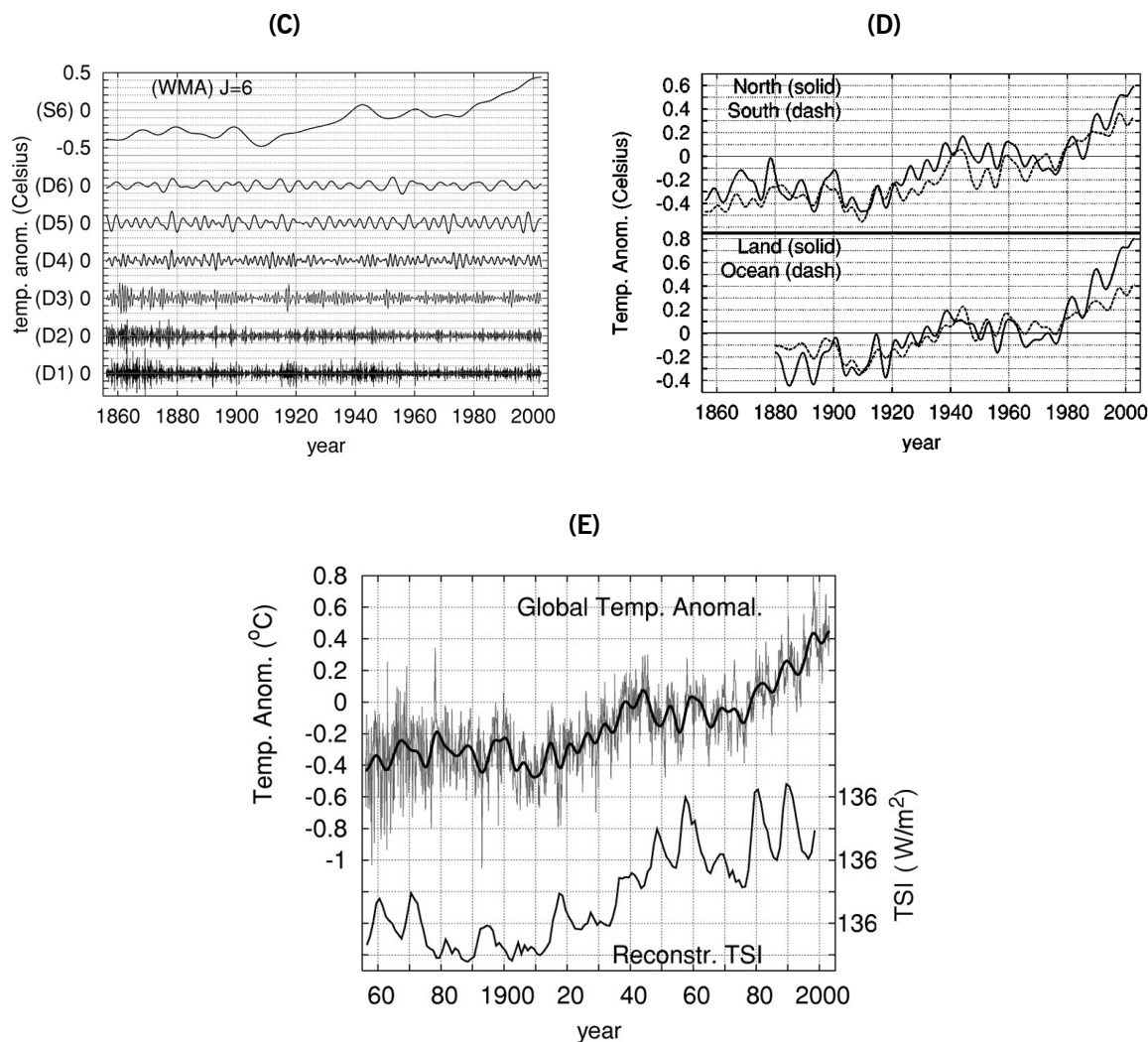
indicam um pico significativo no período de 60 anos. **(B)** Tendências cíclicas de anomalias de temperatura observadas. **(a)** Linha preta fina: anomalias globais anuais; linha preta em negrito: tendência cíclica ajustada com período de 64 anos; linha vermelha com barras de erro de desvio padrão: interpolação da tendência cíclica para o ano 2030 [proposta em trabalho anterior, Klyashtorin e Lyubushin (2003)]. **(b)** análogo ao gráfico anterior, com a diferença de usar uma série de anomalias de temperaturas que se estende até o ano 2010. **(c)** Linhas vermelhas, pretas e azuis correspondem às tendências cíclicas melhor ajustadas das anomalias de temperatura no hemisfério norte, no nível global, e no hemisfério sul, com períodos de 69, 66 e 63 anos respectivamente. As linhas tracejadas após 2010 apresentam interpolações de prognóstico de tendências cíclicas até o ano 2030.

### 3.2.4.1. Trabalhos de Nicola Scafetta

A seguir, são abordados alguns artigos de um autor em específico, o Prof. Dr. Nicola Scafetta, físico da Universidade de Nápoles Federico II, Itália. A consistência de suas publicações e a robustez de seus resultados são notáveis, dignos de elevada admiração. O foco de suas pesquisas nas questões climáticas iniciou há quase duas décadas: em seu primeiro trabalho nesse sentido (SCAFETTA; WEST, 2003), argumentou-se que as anomalias de temperatura de curto prazo da Terra e a intermitência das variações solares estão relacionadas. Com base nessa constatação, os autores avançaram no desenvolvimento de sua linha de investigação e, em Scafetta et al. (2004), foram analisadas séries de temperatura globais e regionais [Figura 118-(A)] conforme técnicas espectrais [Figura 118, gráficos (B) e (C)], resultando em modelos de reconstrução das temperaturas [Figura 118-(D)]. Por fim, os autores sugeriram que o incremento da temperatura da Terra durante os últimos 80 anos está parcialmente relacionado ao aumento da atividade solar [Figura 118-(E)].







**Figura 118** – Séries de temperatura e resultados de análise espectral, conforme Scafetta et al. (2004). **(A)** Anomalias (em °C) da temperatura global, no hemisfério norte, no hemisfério sul, nos continentes e nos oceanos, relativas ao período 1856–2002. **(B)** Análise de densidade espectral das séries, usando o Método de Máxima Entropia (MEM) com 500 polos, unidades arbitrárias. As periodicidades dominantes envolvem períodos de 12 meses de duração, relacionados ao ciclo anual da Terra orbitando o Sol; períodos de 10 anos de duração e 21-22 anos de duração, além de vários harmônicos ou pseudoperiodicidades. Os ciclos principais são todos ciclos solares estabelecidos, sendo o ciclo pseudoperiódico<sup>152</sup> de Schwabe (11 anos) o mais conhecido; acredita-se que o ciclo de ~21-22 anos, conhecido como ciclo de Hale, seja devido a uma ação do dínamo magneto-hidrodinâmico que regenera periodicamente o campo magnético solar. Nota-se grande semelhança entre o hemisfério norte e as regiões continentais e o hemisfério sul e as regiões oceânicas. Também é interessante observar que a periodicidade anual é muito proeminente no hemisfério norte – que contém a maior parte das terras – e é muito fraca para a região oceânica. A explicação pode ser a alta capacidade de calor efetiva da água associada à circulação global do oceano que move a água entre os hemisférios norte e sul. **(C)** Anomalias da temperatura global e em comparação com a reconstrução da média anual da irradiância solar total, com base no número de manchas solares durante o período 1860–2000. **(D)** Decomposição das anomalias de temperaturas globais, conforme a Análise de Multirresolução de Ondaletas; **(E)** Modelo de reconstrução das anomalias de temperaturas, com curvas suavizadas em relação aos hemisférios norte/sul e regiões continentais/oceânicas. Fonte: Scafetta et al. (2004).

<sup>152</sup> Ciclos pseudoperiódicos possuem variações irregularmente espaçadas, alongadas ou distorcidas entre os ciclos de repetição.

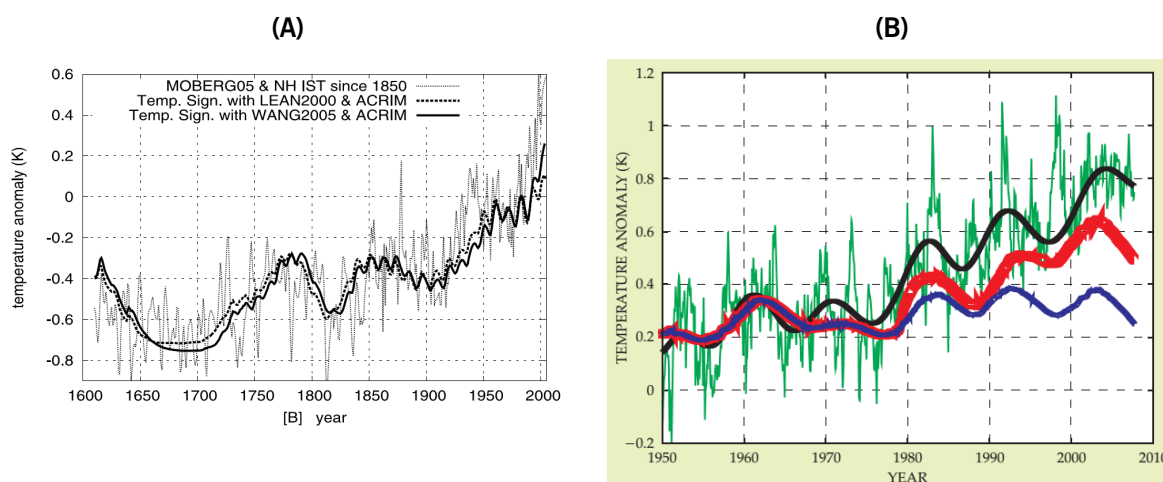
Prosseguindo nos estudos acerca do papel da radiação solar na temperatura global da superfície durante períodos da era industrial (1900-2000), Scafetta e West (2006a) estimaram que o sol contribuiu com cerca de 45-50% do aquecimento global de 1900-2000 e 25-35% do aquecimento global de 1980-2000. Esses resultados, ao mesmo tempo que confirmam que o forçamento climático antropogênico adicional pode ter progressivamente desempenhado um papel dominante nas mudanças climáticas durante o último século, também sugerem que o impacto solar nas mudanças climáticas durante o mesmo período é significativamente mais forte do que alguns modelos teóricos previram.

Ao considerar um período maior de tempo, Scafetta e West (2006b, 2007) e Scafetta (2009) investigaram a influência solar em 400 anos de um registro de temperatura global da superfície desde 1600, período que inclui a era pré-industrial (aproximadamente 1600–1900), quando uma quantidade insignificante de forçamentos climáticos antropogênicos estava presente e o sol foi, efetivamente, a única força climática afetando o clima em uma escala secular. A abordagem proposta pelos autores, uma alternativa à abordagem de modelos climáticos tradicionais, produziu resultados com boa correspondência entre a temperatura do hemisfério norte e as curvas de temperatura induzida pelo sol (assinaturas) durante o período pré-industrial [**Figura 119-(A)**], inclusive reproduzindo os períodos de resfriamento que ocorrem durante o Mínimo de Maunder (1645-1715) e o Mínimo de Dalton (1795-1825). Assim, estimaram que o Sol pode ser responsável por até cerca de 65% do aumento na temperatura média da Terra, dependendo da reconstrução solar usada.

Em abordagem semelhante, Scafetta e West (2008) aplicaram a metodologia na análise das temperaturas globais relativas ao período de 1950-2010 [**Figura 119-(B)**]. A figura mostra excelente concordância entre os ciclos solares de 11 e 22 anos e os ciclos observados nos dados de temperatura global média suavizada. Os mesmos padrões são mal reproduzidos pelos MCGs atuais, especialmente os difundidos pelo IPCC, e são interpretados desdenhosamente como “variabilidade interna (ruído)”<sup>153</sup> do clima.

---

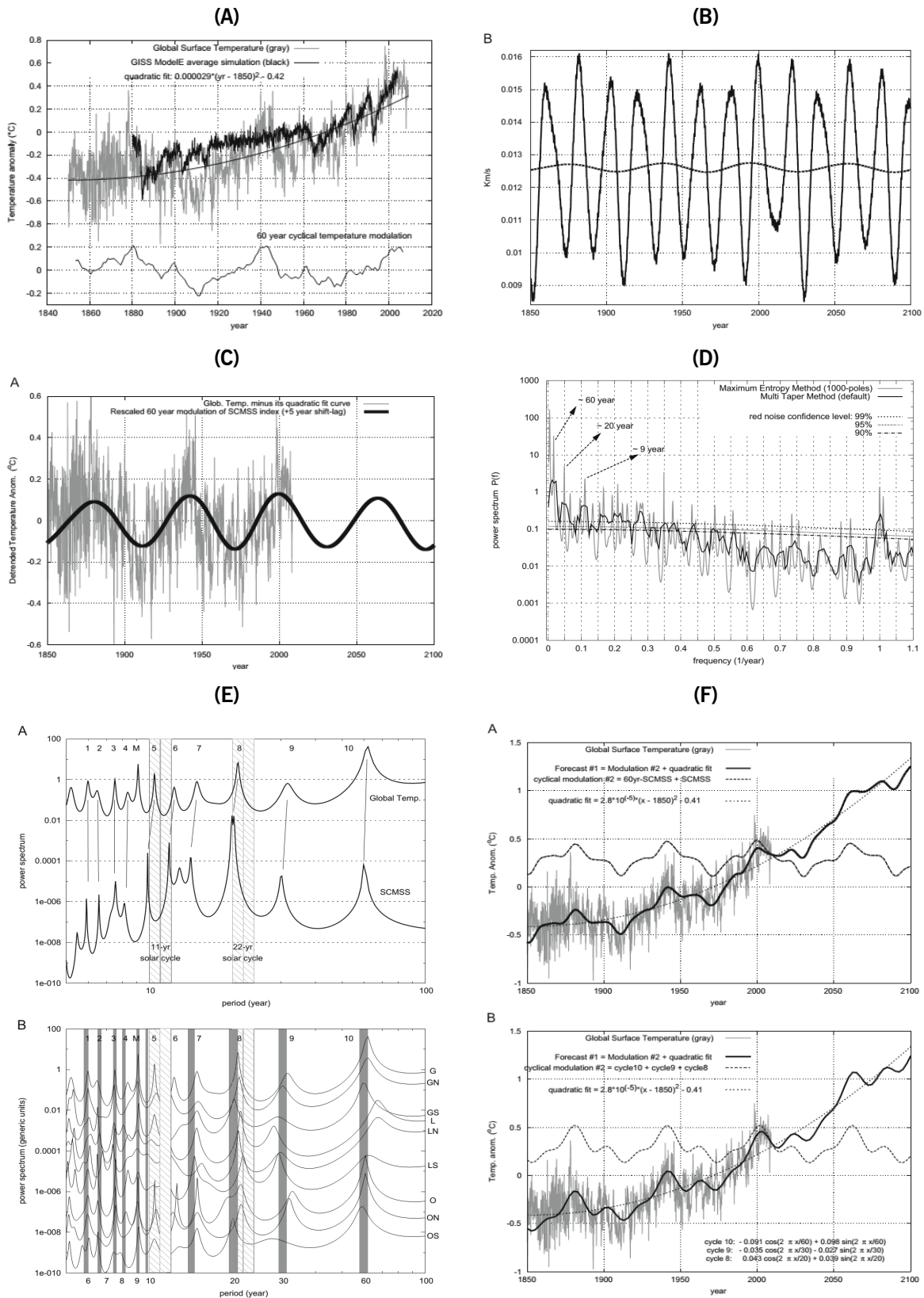
<sup>153</sup> Scafetta e West (2008) explicam que a atmosfera, as massas continentais e os oceanos da Terra absorvem e redistribuem a irradiância solar total por meio de processos hidrotérmicos, geoquímicos e dinâmicos radiativos não lineares acoplados que produzem a temperatura média global da Terra em um determinado momento. Versões desses mecanismos físicos estão incluídas nos modelos de circulação geral, mas o que não é abordado nas simulações são as estatísticas das séries temporais, normalmente expressas como valores mensais de anomalias de temperatura. Assim, a variabilidade estatística na temperatura média da Terra é interpretada como “ruído”; pensa-se que as flutuações de temperatura não contêm nenhuma informação útil e, conseqüentemente, são suavizadas para enfatizar as mudanças de longo prazo presumivelmente mais importantes na temperatura global média, normalmente da ordem de anos. De acordo com o teorema do limite central, as estatísticas das flutuações em tais redes de grandes dimensões devem ser gaussianas. Entretanto, permanece inexplicado o fato de tais flutuações não apresentarem distribuição gaussiana. O comportamento não gaussiano levou os autores a estudar as flutuações de temperatura como um problema na física estatística do não-equilíbrio, em que as flutuações estatísticas frequentemente fornecem informações úteis sobre as propriedades de fenômenos complexos.



**Figura 119** – Comparações entre reconstruções paleoclimáticas de temperaturas e atividades solares. **(A)** Reconstrução das anomalias de temperatura no hemisfério norte (curva cinza fina pontilhada) com as assinaturas de temperatura induzida pelo sol obtidas a partir de testemunhos, as quais foram corrigidas por observações em satélites desde 1980 (curvas pretas grossas, contínua e pontilhada). **(B)** Anomalias de temperaturas globais (curva verde), com ajuste suavizado modulado em 11 anos (curva preta), acompanhadas por duas reconstruções de temperaturas (curvas vermelho e azul) baseadas nas variações solares, com padrões de ciclos de 11 e 22 anos. Fontes: (A) Scafetta e West (2007); (B) Scafetta e West (2008).

No início da década passada, Scafetta inaugurou uma fase de uma longa série de publicações de sucessivos artigos meritórios, nos quais os modelos e projeções passaram a se embasar substancialmente nos ciclos de 60 anos. Em Scafetta (2010), foi investigado se as oscilações climáticas decadais e multidecadais tinham ou não origem astronômica. Ao comparar registros de temperatura da superfície global desde 1850 [Figura 120-(A)] e registros deduzidos das órbitas dos planetas [Figura 120-(B)], foram observados espectros de energia muito semelhantes [Figura 120-(E)]. Descobriu-se que grandes oscilações climáticas estão relacionadas com períodos de cerca de 20 e 60 anos [Figura 120-(C)], os quais estão sincronizados com os períodos orbitais de Júpiter e Saturno<sup>154</sup>. Os ciclos solares de Schwabe e Hale também foram visíveis nos registros de temperatura, além de um ciclo de 9,1 anos, este sincronizado com os ciclos orbitais da Lua [Figura 120-(D)]. Um modelo baseado nesses ciclos astronômicos foi usado para reconstruir as oscilações de temperatura desde 1850, bem como fazer previsões parciais para o séc. 21 [Figura 120-(F)]. Verificou-se que pelo menos 60% do aquecimento global observado desde 1970 foi induzido pelo efeito combinado das oscilações naturais do clima. A previsão parcial indica que o clima pode se estabilizar ou esfriar até 2030–2040.

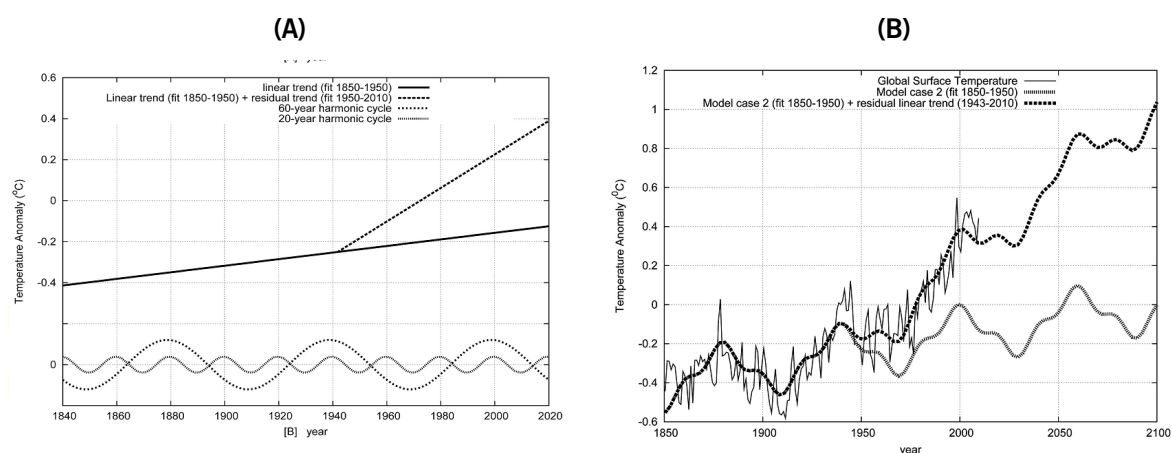
<sup>154</sup> Conforme já anteriormente relatado no CAPÍTULO 2, item “2.3.1.3. Movimento Inercial Solar” (p. 136), os planetas jovianos (gigantes gasosos afastados), em particular Júpiter e Saturno, com seus movimentos em torno do Sol, dão origem a grandes oscilações gravitacionais e magnéticas que fazem o sistema solar vibrar. As vibrações do sistema solar, que coincidem com as órbitas planetárias, podem ser sentidas direta ou indiretamente pelo sistema climático e podem fazer com que ele oscile com as mesmas frequências (SCAFETTA, 2010).



**Figura 120** – Principais resultados gráficos de Scafetta (2010). **(A)** Série de anomalias temperatura global (linha cinza), com ajuste de tendência quadrática (curva preta); abaixo, modulação da temperatura conforme ciclos de 60 anos. **(B)** Velocidade do Sol em relação ao centro de massa do sistema solar, indicando oscilações de 20 e 60 anos decorrentes das órbitas de Júpiter e Saturno. **(C)** Índice de modulação de 60 anos da velocidade do Sol (linha preta) sobreposto às anomalias de temperatura global, sem tendência (linha cinza); **(D)** Espectro de energia da

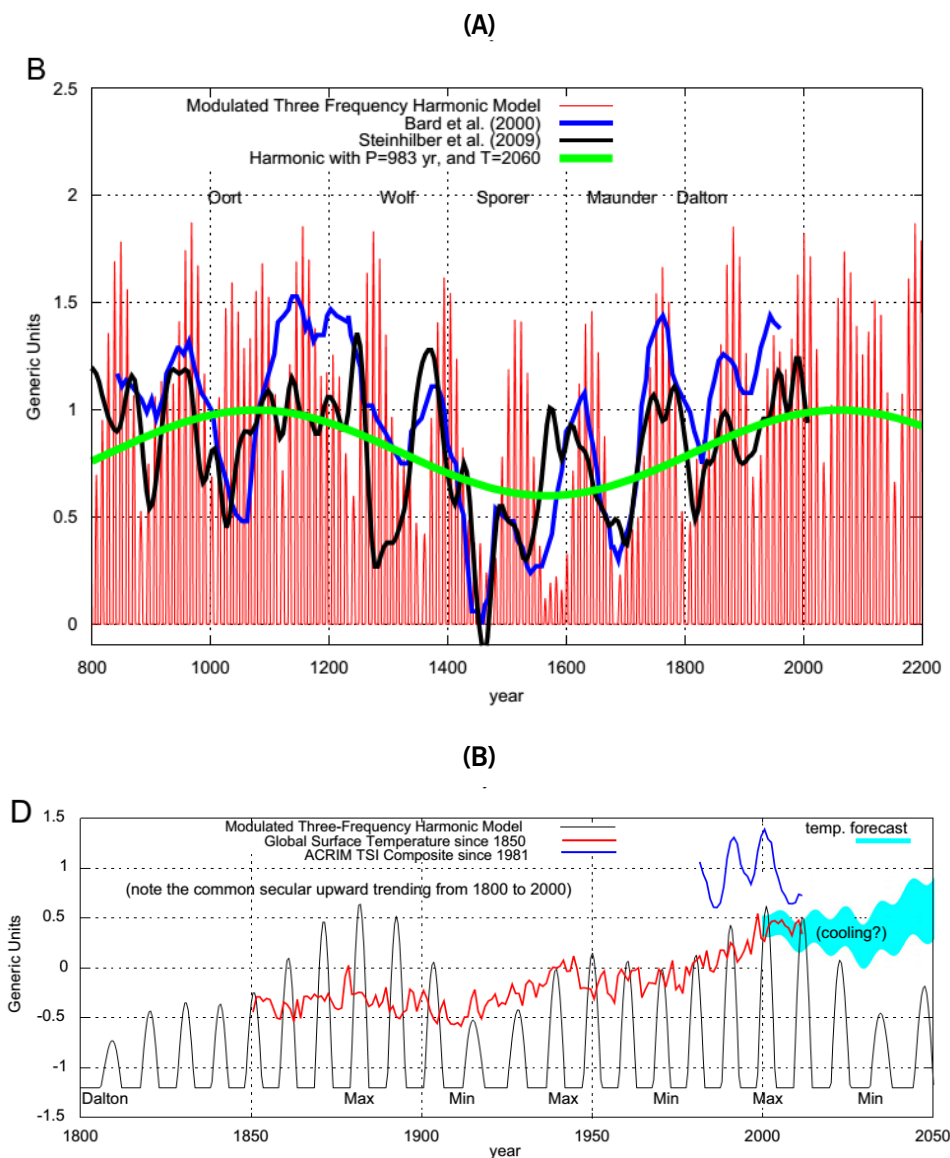
temperatura global, usando o Método da Máxima Entropia – MEM (1000 polos, linha cinza) e o Método Multi Taper – MTM (linha preta). Também estão indicados os limites de confiança (linhas tracejadas), bem como os picos significativos de 9, 20 e 60 anos. **(E)** Gráfico superior: MEM aplicado à séries de temperatura e da velocidade do Sol; Gráfico inferior: Espectro de energia da temperatura global [G], hemisfério norte/sul [GN/GS], continentes [L] hemisf. norte/sul [LN/LS] e oceanos [O], hemisf. norte/sul [ON/OS]. As áreas hachuradas cinzas representam os ciclos solares de 11 e 22 anos, e as áreas cinzas preenchidas correspondem aos ciclos da velocidade do Sol. **(F)** Gráfico superior: observações de temperatura (linha cinza) e projeção de temperatura (linha preta contínua), modelo conforme ciclos de 20 e 60 anos; Gráfico inferior: idem anterior, com modelo incorporando ciclos de 20,30 e 60 anos. Fonte: Scafetta (2010).

Loehle e Scafetta (2011) elaboram modelo agregando os ciclos de 20 e 60 com contribuições antropogênicas [Figura 121-(A)]. Projeções foram elaboradas considerando os fatores exclusivamente naturais e fatores combinados (naturais + antropogênicos) [Figura 121-(B)]. Com base nos resultados, determinou-se que cerca de 60% do aquecimento observado de 1970 a 2000 foi provavelmente causado pelo ciclo climático natural de 60 anos, associado à ODP, durante sua fase de aquecimento. Para até o final do séc. 21, a previsão sugere que o clima pode permanecer aproximadamente estável até 2030-2040, podendo aquecer, no máximo, de 0,5 a 1,0 °C até 2100, a uma taxa de aquecimento antropogênica estimada de 0,66 °C/século – esta taxa é cerca de 3,5 vezes menor do que a taxa média de aquecimento antropogênico de 2,3 °C/século projetada pelo IPCC.



**Figura 121** – Principais resultados gráficos de Loehle e Scafetta (2011). **(A)** Componentes cíclicos naturais (duas linhas na parte inferior), componente linear secular (linha preta contínua) e componente antropogênica (linha tracejada). **(B)** Observações de temperatura (linha fina contínua) e duas projeções: baseada somente em componentes naturais (linha tracejada clara); e baseada em componentes naturais a antropogênicos (linha tracejada grossa). O resultado da projeção combinada é um aquecimento contínuo até 2100, com oscilações, até atingir um máximo de cerca de 0,6 °C acima dos valores de 2000. Assim, o efeito antrópico total de 0,66 °C/século pode, até 2040, ser mascarado pelos ciclos naturais multidecadais de 20 e 60 anos. Fonte: Loehle e Scafetta (2011).

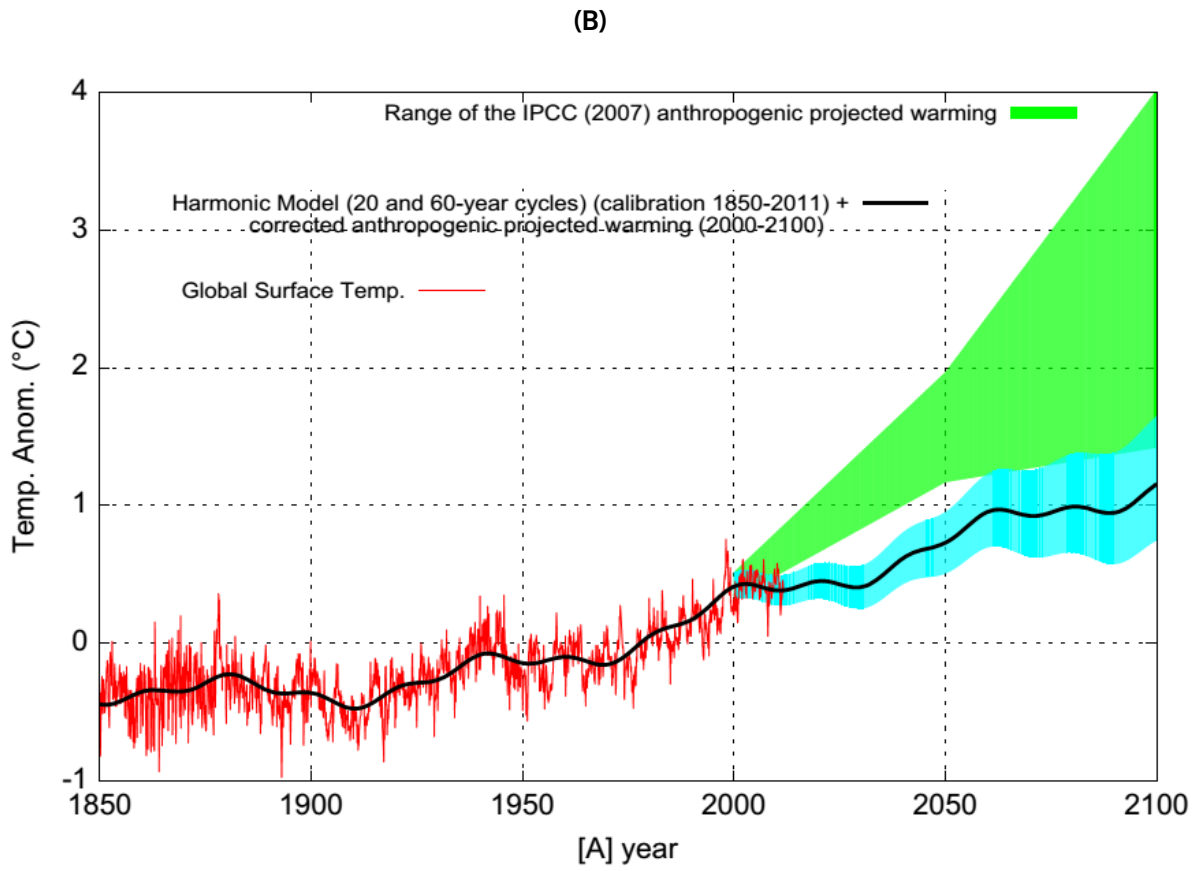
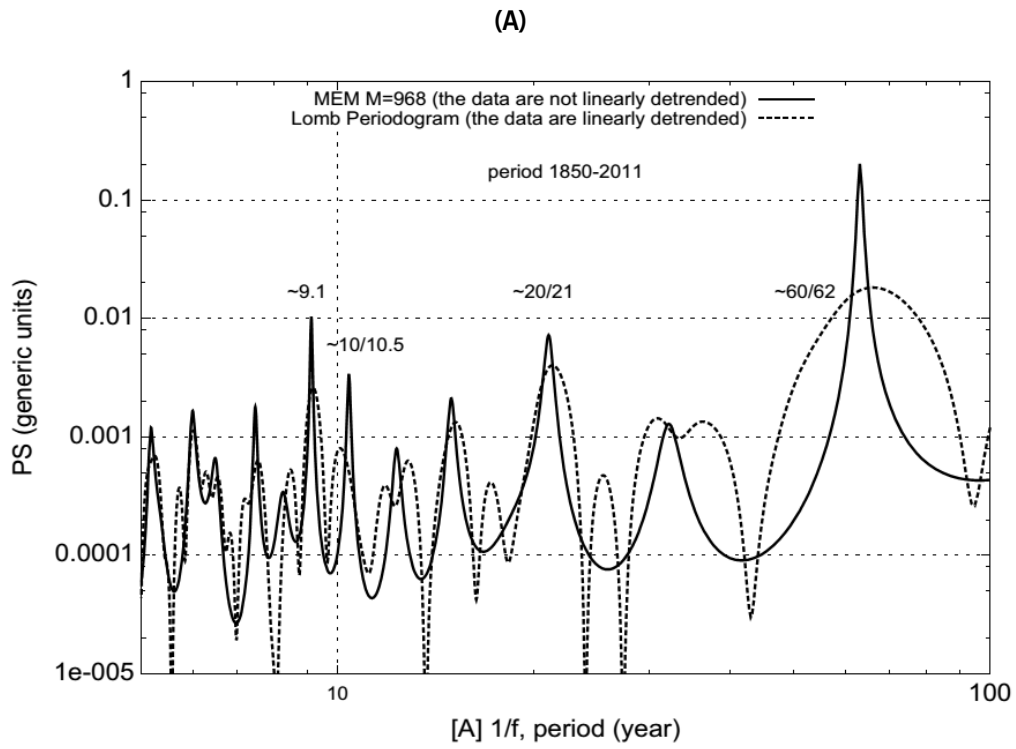
Além dos harmônicos lunares (9,1 anos), solares (10-11 e 20 anos) e planetários (60 anos) já identificados nos estudos anteriores, Scafetta (2012a) identificou, com base em reconstruções paleoclimáticas, harmônicos naturais seculares e milenares com períodos de 115, 130 e 983 anos em reconstruções da irradiância solar [Figura 122-(A)]. Com base na adição desses ciclos de períodos mais longos, foi elaborado um modelo e respectiva projeção de temperaturas globais [Figura 122-(B)]. O modelo prevê que o Sol está entrando em um período prolongado de baixa atividade que pode durar de 2015 a 2050, com um mínimo em torno de 2025-2040. Esse padrão deve ser devido ao mínimo previsto de modulação de quase 60 anos por volta de 2031, que deve ser ainda mais enfatizado pelo ciclo de 115 anos, com mínimo previsto para 2030-2040.



**Figura 122** – Principais resultados gráficos de Scafetta (2012a). **(A)** Modelo harmônico da irradiância solar (linha vermelha), modulado conforme ciclos de 11, 115 e 983 anos, com destaque para o ciclo milenar (linha verde), acompanhado de reconstruções da atividade solar (linhas azul e preta). **(B)** Modelo harmônico da irradiância solar (linha preta), observação satelital da irradiância solar (linha azul) e temperatura global da superfície desde 1850

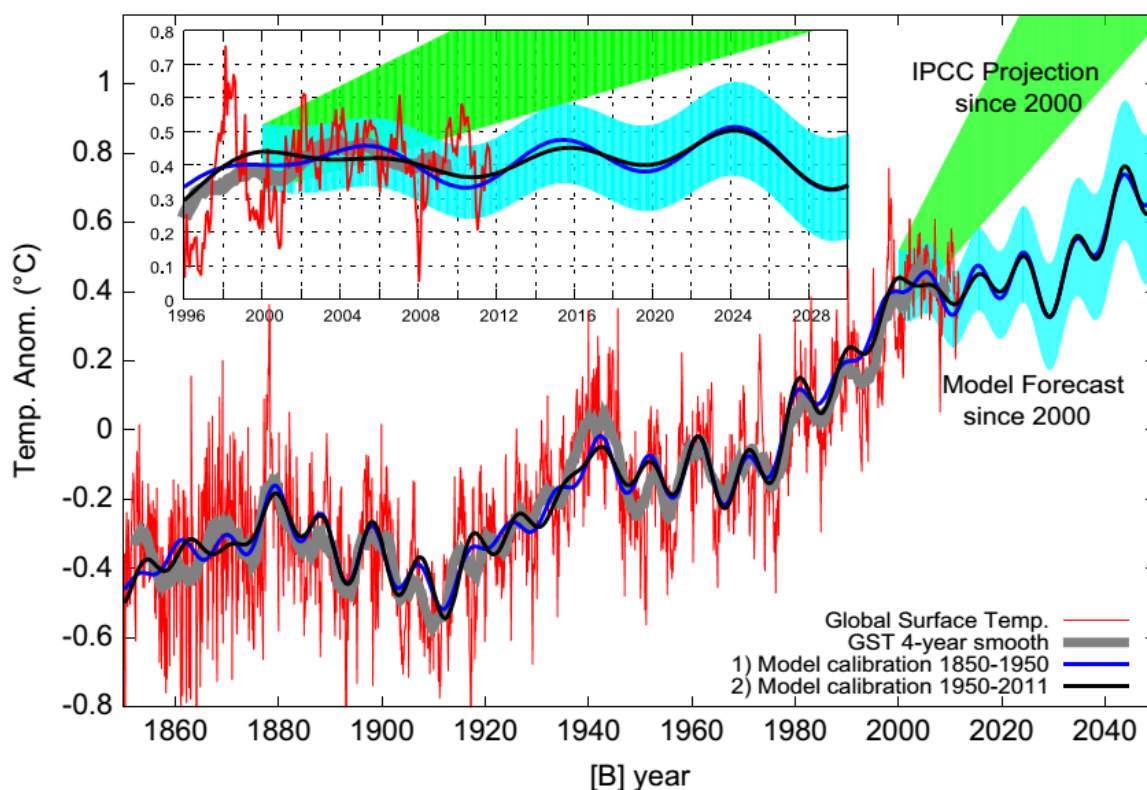
(linha vermelha), com projeção futura de temperaturas (área azul) até 2050. Observa-se que os ciclos de 115 e 983 anos aumentaram durante a maior parte do séc. 20, podendo ter contribuído significativamente para a tendência secular de aquecimento observada e para modulação da temperatura da superfície global do séc. 20. Tal resultado é consistente com as descobertas empíricas anteriores, nas quais estimou-se que até 70% das mudanças climáticas e do aquecimento observados após 1850 poderiam estar associados a vários ciclos solares mal processados pelos atuais MCGs. Fonte: Scafetta (2012a).

Para interpretar a temperatura global da superfície do séc. 20, Scafetta (2012b) finalmente comparou o desempenho do seu modelo climático empírico proposto com base em harmônicos astronômicos com todos os MCGs disponíveis do CMIP3 usados pelo IPCC em 2007. O modelo climático astronômico proposto assume que o clima está ressoando ou sincronizado com um conjunto de harmônicos naturais que estão associados aos movimentos planetários do sistema solar, que é principalmente determinado por Júpiter e Saturno. O autor mostra que os MCGs falham em reproduzir as principais oscilações decadais e multidecais encontradas no registro da temperatura da superfície global de 1850 a 2011. Pelo contrário, o modelo harmônico proposto, que usa ciclos com 9,1, 10-10,5, 20-21 e 60-62 anos [**Figura 123-(A)**], reconstrói bem as oscilações climáticas observadas no mesmo período. Assim, demonstra que a alegação dos MCGs do IPCC – de que todo aquecimento observado de 1970 a 2000 foi induzido antropogenicamente – é errônea por causa da falha dos modelos convencionais em reconstruir os ciclos climáticos de 20 e 60 anos. Finalmente, o autor mostra como a presença desses grandes ciclos naturais pode ser usada para corrigir a tendência de aquecimento antropogênico projetada pelo IPCC para o séc. 21. Ao combinar esta tendência corrigida com os ciclos naturais, conclui que a temperatura pode não aumentar significativamente durante os próximos 30 anos, principalmente por causa da fase negativa do ciclo de 60 anos. Se são ignorados os ciclos naturais multisseculares (que podem ter contribuído significativamente para o aquecimento observado de 1700-2010 e também podem contribuir para um resfriamento natural adicional até 2100), as mesmas emissões antropogênicas projetadas do IPCC implicariam em um aquecimento global de cerca de 0,3 a 1,2 °C em 2100, ao contrário do aquecimento projetado do IPCC de 1,0 a 3,6 °C [**Figura 123**, gráficos **(B)** e **(C)**]. Os resultados reforçam as afirmações de que os mecanismos físicos relevantes que explicam os ciclos climáticos detectados ainda estão ausentes nos MCGs atuais e que as variações climáticas em escalas multidecais são induzidas astronomicamente e, em uma primeira aproximação, podem ser previstas.



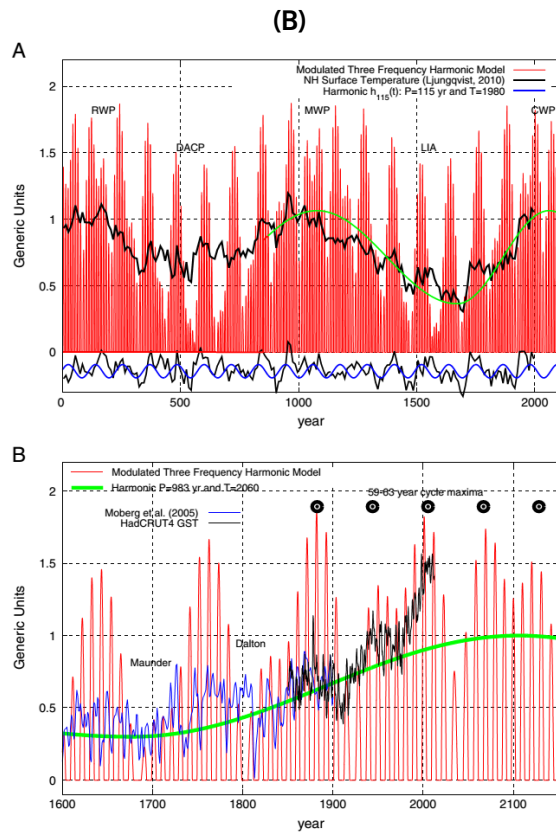
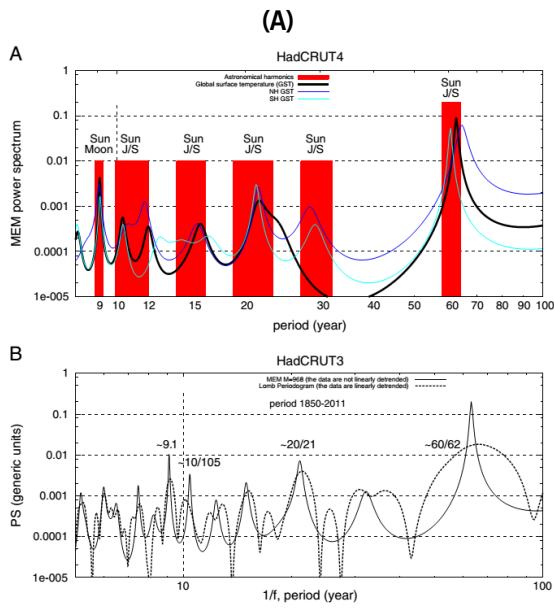
(C)



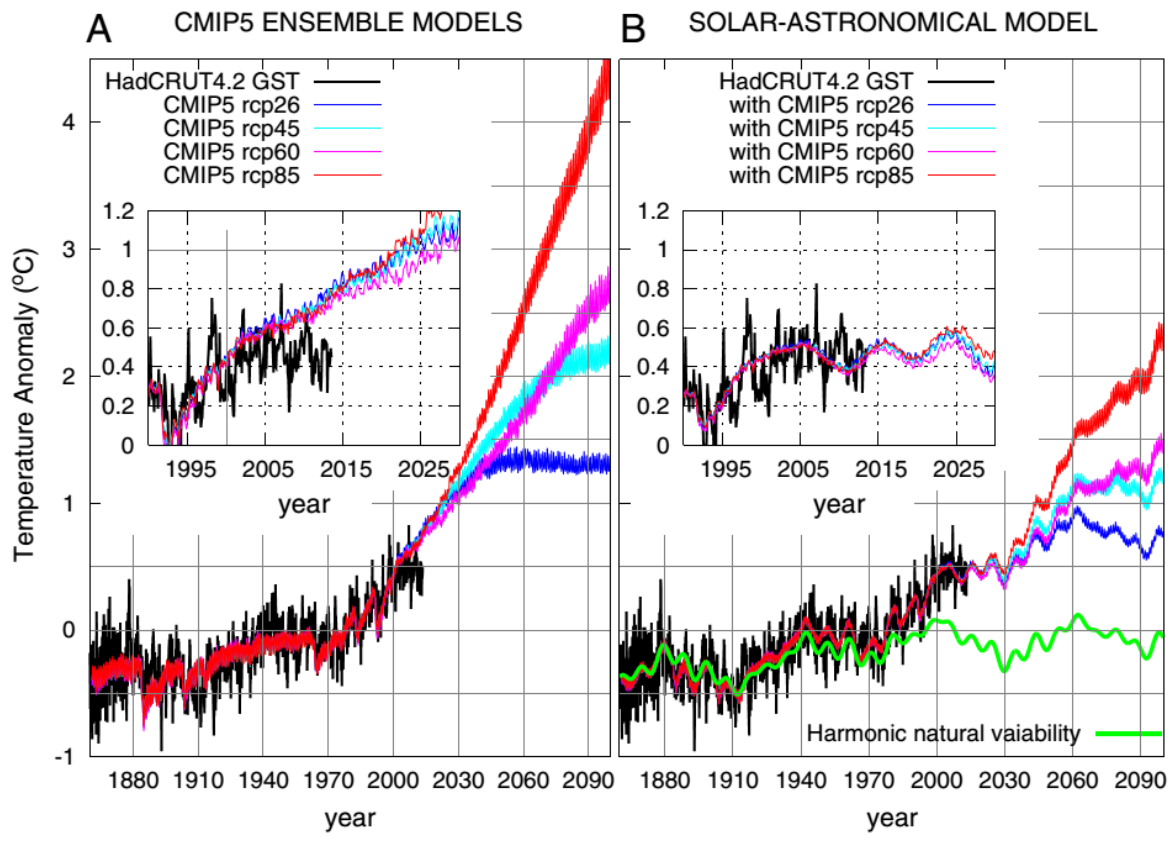


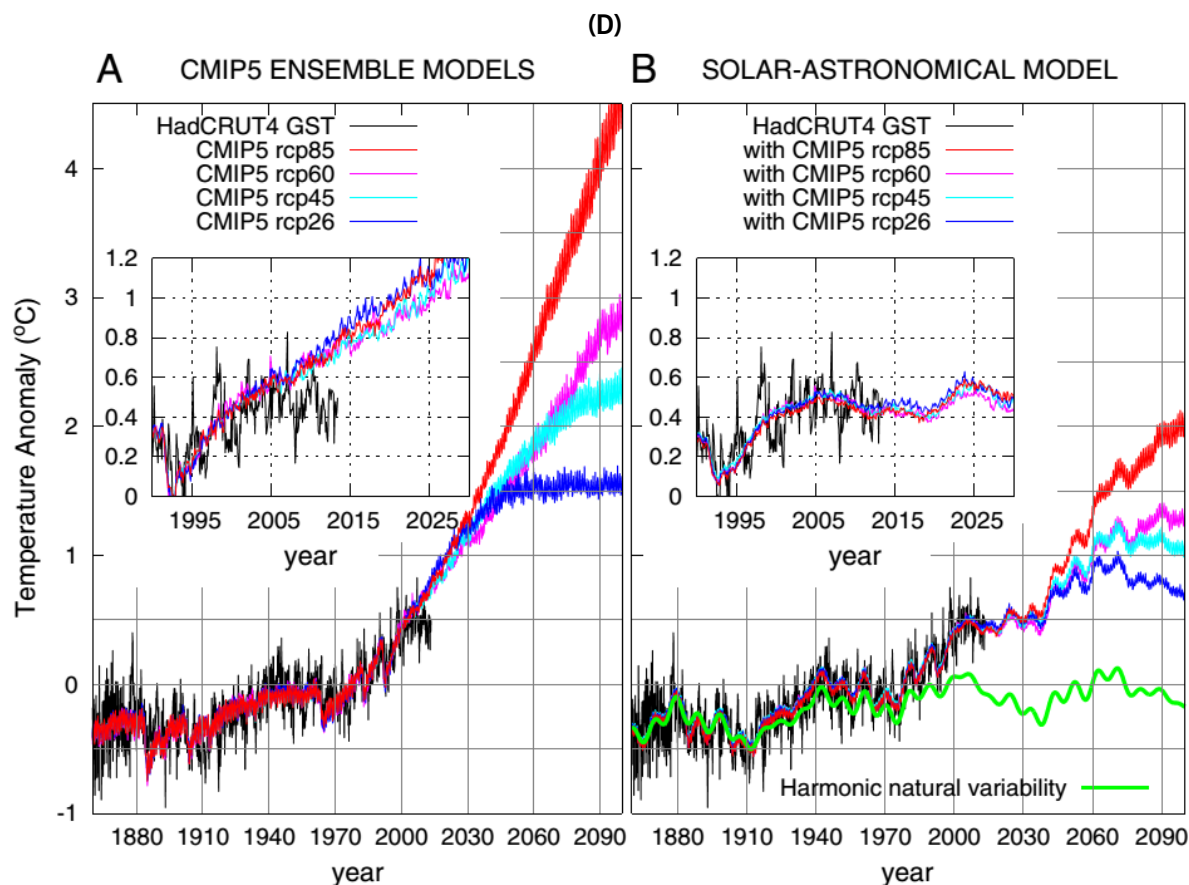
**Figura 123** – Principais resultados gráficos de Scafetta (2012b). **(A)** Técnicas espectrais aplicadas à temperatura global da superfície da série HadCRUT3, amostrada mensalmente de 1850 a 2011: MEM (linha contínua) e o Periodograma de Lomb (linha tracejada); as duas técnicas produzem os mesmos picos, mas o MEM produz picos muito mais nítidos. Os quatro principais picos são destacados na figura. **(B)** Temperatura global da superfície amostrada mensalmente de 1950 a 2050 (linha vermelha); modelo empírico composto dos 2 ciclos (20 e 60 anos) mais a tendência quadrática até 2000, que é substituída pelo aquecimento antropogênico projetado corrigido; projeções do IPCC em 2007 (área verde). **(C)** Idem gráfico anterior, com modelo empírico composto dos 4 ciclos (9, 10, 20 e 60 anos), com dois modelos (linhas preta e azul) calibrados em diferentes períodos, e suavização, em 4 anos, da temperatura observada (linha cinza). Áreas verdes correspondem ao aquecimento projetado do IPCC usando a projeção média do MCG com uma tendência de  $2,3 \pm 0,6$  °C/século. Como é evidente na figura, as oscilações decadais reconstruídas pelos dois modelos alternativos estão muito bem sincronizadas entre eles, com as oscilações reveladas na curva cinza de temperatura. Esse resultado da validação sugere que o modelo astronômico harmônico tem capacidade de previsão. Fonte: Scafetta (2012b).

Aprofundando nas análises, Scafetta (2013a, 2013b) analisou em detalhe os MCGs usados pelo IPCC em 2013 e identificou que eles não são capazes de reconstruir a variabilidade da oscilação natural de quase 60 anos. Assim, o autor afirma que cerca de 50% do aquecimento global de  $\sim 0,5$  °C observado de 1970 a 2000 foi devido a oscilações naturais do sistema climático, não a devido a forçamentos antropogênicos, conforme modelado pelos MCGs utilizados pelo IPCC. O autor reforçou e detalhou a relação entre harmônicos astronômicos e temperaturas globais [Figura 124-(A) e (B)], bem como apresentou novas comparações entre os MCGs convencionais e os modelos climáticos alternativos [Figura 124-(C) e (D)], baseados em harmônicos solares e astronômicos.



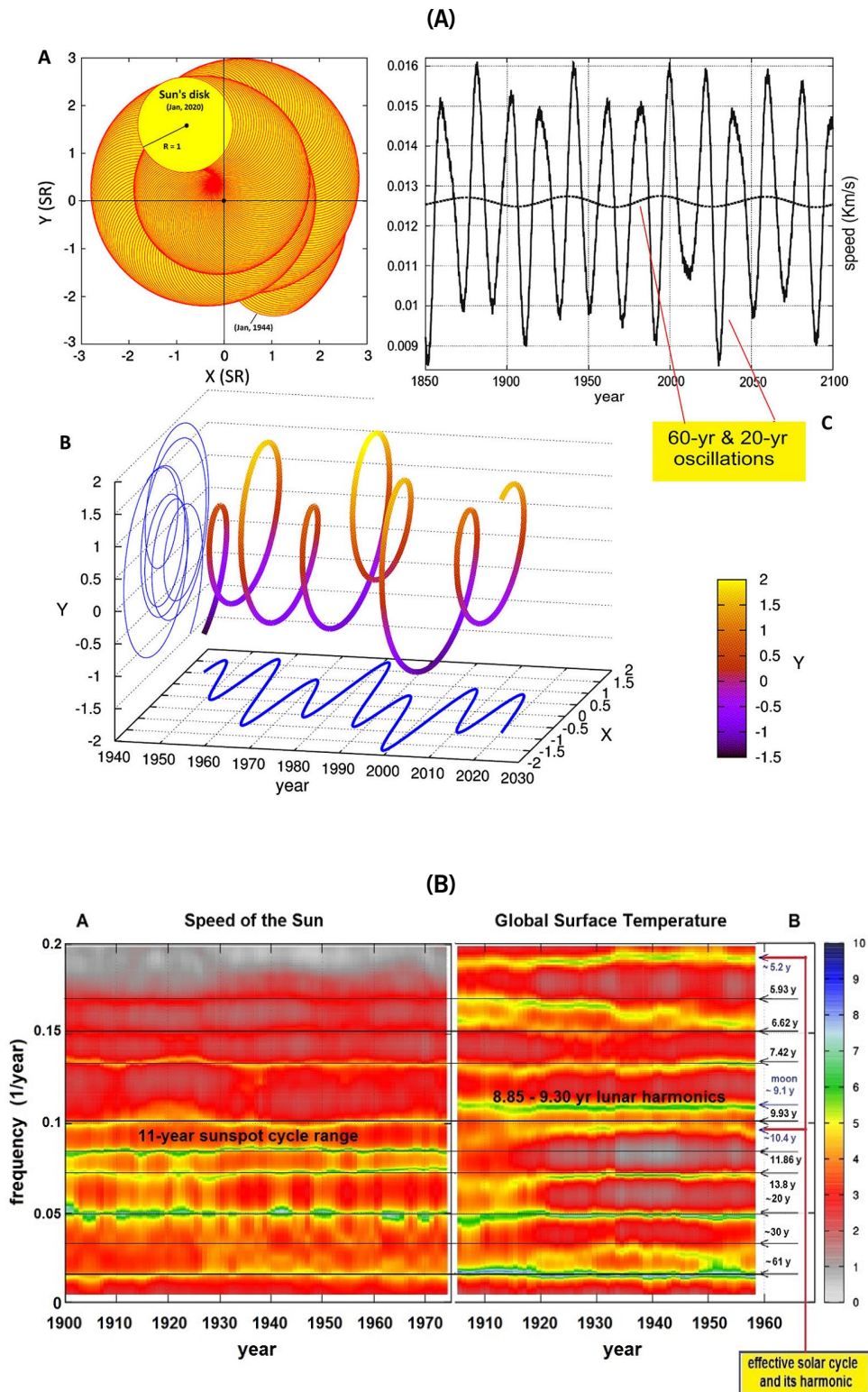
(C)





**Figura 124** – Principais resultados gráficos de Scafetta (2013a). **(A)** Gráfico superior: espectros de energia das temperaturas globais (linha preta) e dos hemisférios norte/sul (linhas azul escuro/azul claro), com bandas dos harmônicos astronômicos (faixas vermelhas) associados a Júpiter e Saturno. Gráfico inferior: espectros de energia da temperatura global da superfície da série HadCRUT3, conforme MEM (linha contínua) e o Periodograma de Lomb (linha tracejada). **(B)** Gráfico superior: relativo aos últimos 2.000 anos, modelo baseado em ciclos longos da irradiância solar (linhas vermelhas), demonstrando variação da reconstrução da temperatura no hemisfério norte (linha preta) com ajuste de tendência milenar (linha verde); Gráfico inferior: idem gráfico anterior, com recorte temporal de 1600-2150, acrescentando temperaturas globais observadas (linha preta). **(C)** e **(D)** Gráficos à esquerda: MCGs usados pelo IPCC, com observações (linha preta) e projeções modeladas conforme diferentes cenários (linhas coloridas); Gráficos à direita: modelos solares-astronômicos associados aos MCGs, com respectivas projeções alternativas (linhas coloridas), indicando também a variabilidade natural harmônica (linha verde). Fonte: Scafetta (2013a).

Com ênfase na contribuição das pesquisas de Scafetta sobre as evidências empíricas e modelagem física da variabilidade solar e climática com base em harmônicos astronômicos, Scafetta (2014a, 2014b, 2016a, 2016b, 2020) e Scafetta et al. (2016) dedicaram maior detalhamento dos mecanismos astronômicos existentes entre o Sol e os planetas. Como conclusão geral, o sistema solar funciona como um ressonador caracterizado por uma estrutura planetária harmônica específica que também sincroniza a atividade do Sol e o clima da Terra. Dos trabalhos citados, merecem destaque alguns gráficos (**Figura 125**) que foram trazidos pelo autor.

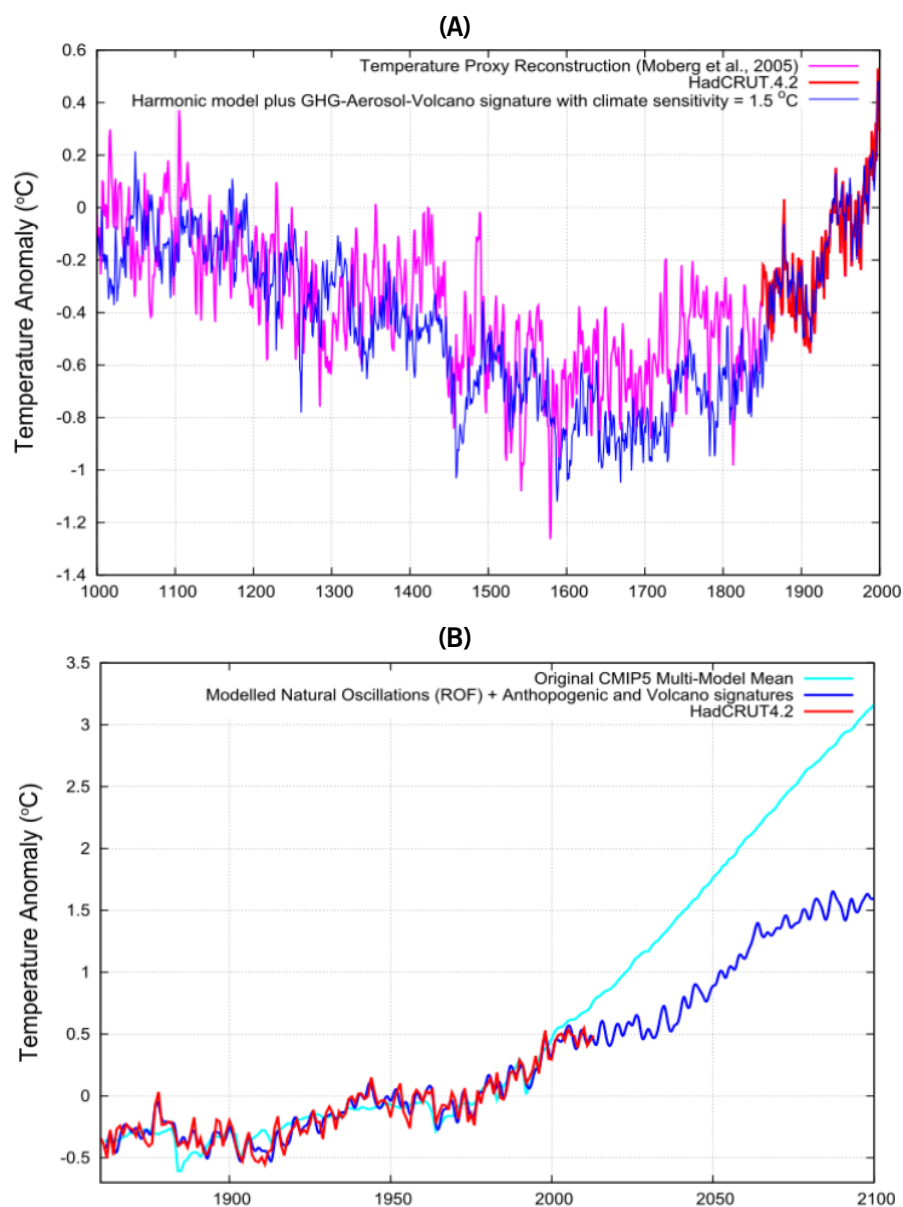


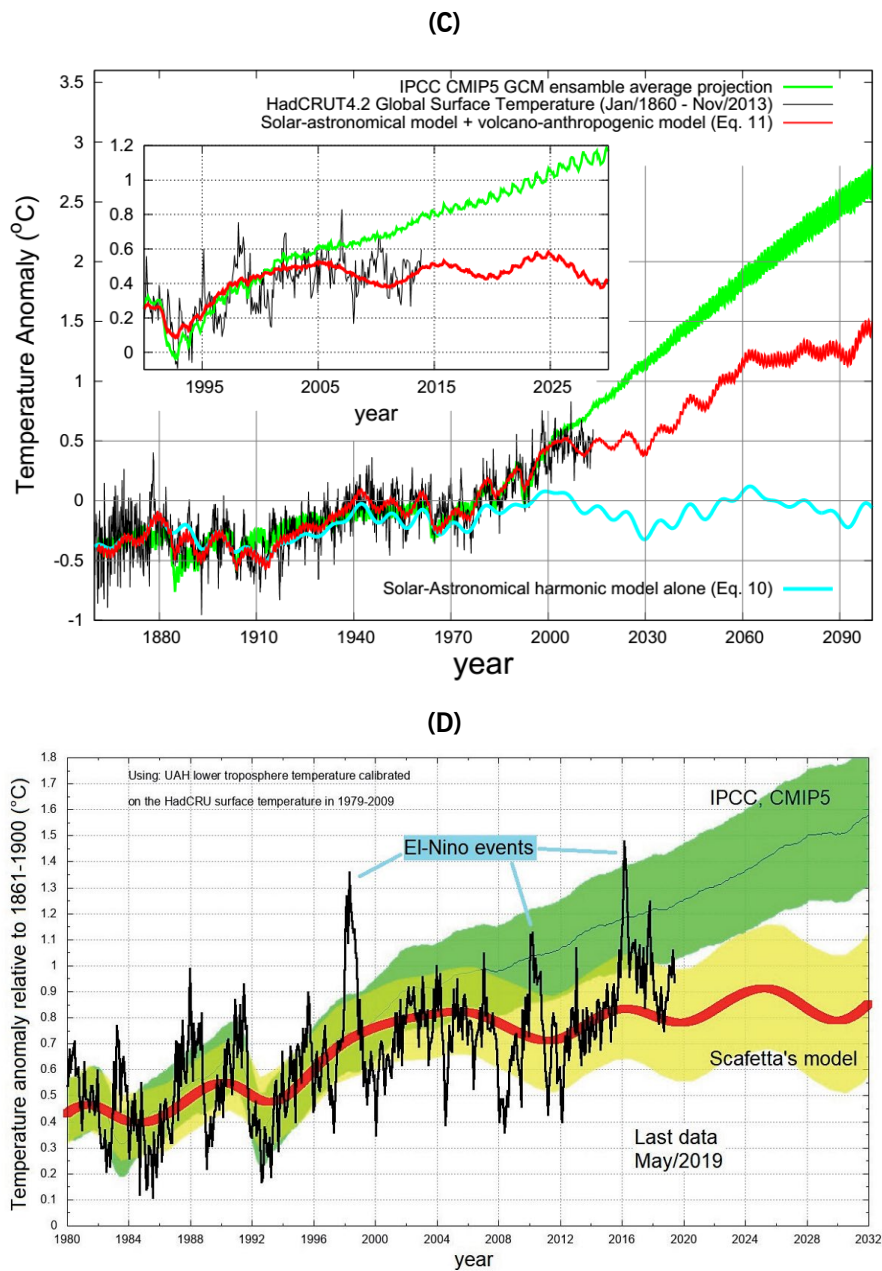
**Figura 125** – Principais resultados gráficos de Scafetta (2014b). **(A)** A oscilação do Sol em relação ao centro de massa do sistema solar. Gráfico superior à esquerda: movimento mensal, em escala, do Sol entre 1944 e 2020, visto do eixo z perpendicular à eclíptica. O Sol é representado por um disco amarelo em movimento com uma circunferência vermelha. Gráfico superior à direita: velocidade do Sol, de 1850 a 2100, apresentando as oscilações evidentes de 20 e 60 anos. Gráfico inferior: trajetória do centro do Sol, de 1944 a 2020<sup>155</sup>. **(B)** Análise de tempo-

<sup>155</sup> A **Figura 125-(A)** complementa o gráfico já anteriormente apresentado na **Figura 20** (p. 140).

frequência da velocidade do Sol em relação ao baricentro (gráfico à esquerda) e do registro de temperatura HadCRUT3 (à direita) após remoção de tendência quadrática para eliminar o viés ascendente não estacionário. As linhas espectrais astronômicas invariantes no tempo são destacadas com linhas retas pretas cruzando os dois painéis. A seta azul indica a assinatura de temperatura do ciclo de marés lunares de  $\sim 9,1$  anos, e as duas setas vermelhas as assinaturas de temperatura efetiva do ciclo solar em  $\sim 10,4$  anos e de seu provável harmônico em  $\sim 5,2$  anos. Observa-se uma boa coerência espectral em períodos de 20 e 60 anos. Fonte: Scafetta (2014a).

Nos últimos 5 anos, Scafetta focou seus esforços em apresentar as falhas de modelos usados pelo IPCC, propondo, como alternativa, seus modelos capazes de reconstruir e representar apropriadamente a variabilidade climática natural em diversas escalas (SCAFETTA, 2014b, 2016b, 2019, 2021a; SCAFETTA; MIRANDOLA; BIANCHIN, 2017a; 2017b). Das citadas publicações, na **Figura 126** são apresentados os principais resultados gráficos das respectivas análises.





**Figura 126** – Principais resultados gráficos de Scafetta (2014b, 2019, 2021). **(A)** Do ano 1000 a 2000: reconstrução da temperatura global por testemunhos (linha rosa), observações da temperatura global (linha vermelha) e modelo climático semi-empírico completo (azul), usando as oscilações naturais + contribuições de GEEs, aerossóis e vulcões. **(B)** Do ano 1860 a 2100: observações da temperatura da superfície global HadCRUT4 (linha vermelha), modelo climático semi-empírico completo (linha azul escuro), elaborado a partir das oscilações naturais mais os efeitos antropogênicos e vulcânicos, e projeção conforme modelo CMIP5 usado pelo IPCC (linha azul claro). **(C)** Do ano 1860 a 2100: observações da temperatura global (1860- 2013, linha preta), MCG do conjunto CMIP5 (linha verde) usado pelo IPCC em 2013, e modelo semi-empírico com atenuação da simulação média (linha vermelha). A curva azul claro representa apenas o componente harmônico natural. A curva verde representa a simulação média CMIP5 GCM usada pelo IPCC em 2013. **(D)** De 1979 a 2032: temperatura global média mensal da baixa troposfera, de acordo com observação satelital (UAH, linha preta), com projeções médias do conjunto CMIP5 (área verde), e modelo semi-empírico astronômico-solar (linha vermelha + área amarela). As áreas verdes e amarelas têm uma incerteza equivalente a  $1\sigma$ . De modo significativamente melhor do que as simulações de MCGs, o modelo de Scafetta reconstrói as temperaturas no último milênio, bem como o aquecimento do séc. 20 e todos os padrões de temperatura decadais e multidecadais observados desde 1860, em especial o hiato após 1998. Fontes: (A) e (B) Scafetta (2021); (C) Scafetta (2014b); (D) Scafetta (2019).

Pela breve apresentação dos principais resultados dos trabalhos de Scafetta, salientados pela extraordinária qualidade gráfica, fica evidenciado o esforço e o formidável trabalho sendo desenvolvido por esse exímio cientista. Fundamentando-se em análises estatísticas evidenciadoras dos correspondentes aspectos fenomológicos, suas excepcionais investigações sobre os ciclos não se restringem somente às questões climáticas e astronômicas, grande foco de sua admirável abordagem. Sobre os ciclos de 60 anos, por exemplo, Scafetta, geralmente em parceria com outros autores, ainda identificou que essa periodicidade – muito tipicamente presente em diversas séries de temperatura e de índices oceânicos (como a ODP) – também foi constatada: na variação do nível do mar (SCAFETTA, 2013c); frequência anual de terremotos de magnitude  $M \geq 7$  (SCAFETTA; MAZZARELLA, 2015); na frequência de queda de meteoritos (SCAFETTA; MILANI; BIANCHINI, 2020); no registro histórico de auroras boreais (SCAFETTA; WILLSON, 2013); bem como na variação da duração do dia<sup>156</sup> (MAZZARELLA; SCAFETTA, 2011<sup>157</sup>), tendo sido este indicador útil na estimativa da amplitude da Pequena Era do Gelo (MAZZARELLA; SCAFETTA, 2018<sup>158</sup>). Portanto, concernente à análise espectral dos ciclos climáticos, a robusta metodologia adotada nos trabalhos de Scafetta é a referência norteadora das análises a serem conduzidas adiante.

### 3.3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo essencialmente enfatizou o papel vital da variabilidade natural nas tendências das mudanças climáticas nos últimos dois séculos. Os trabalhos apresentados implicam que, para atribuir corretamente as mudanças climáticas e prever o clima futuro com maior confiabilidade, mais atenção deve ser dada às diversas variabilidades naturais periódicas inerentes ao clima. De extrema importância, os pontos-chave para melhorar as habilidades de simulação e previsão dos modelos climáticos residem em distinguir corretamente o verdadeiro

---

<sup>156</sup> A velocidade de rotação da Terra é normalmente medida por meio da duração do dia (DDD). Existe uma modulação de quase 60 anos entre a temperatura global da superfície do mar com a DDD. As observações parecem sugerir claramente que as forças astronômicas solares alteram o clima da Terra e, portanto, sua circulação atmosférica que, então, leva às mudanças da DDD. A DDD pode mudar por causa do forçamento interno como uma resposta à conservação do momento angular da Terra ou por causa dos torques induzidos solares/astronômicos externos que alteram as circulações atmosférica e oceânica. No último caso, o torque impulsiona a DDD (MAZZARELLA; SCAFETTA, 2011). O torque induzido pelos planetas na *tacoclina solar* (região de transição entre a zona de radiação e a zona de convecção) é analisado em profundidade em Abreu et al. (2012), Charbonneau (2013) e McCracken, Beer e Steinhilber (2014).

<sup>157</sup> Os resultados do citado trabalho é condizente com outros estudos: Mazzarella (2006, 2013); Zotov, Bizouard e Shum (2016); e Zotov et al. (2020).

<sup>158</sup> Considerando a alta correlação entre a DDD e a temperatura global da superfície do mar, a DDD pode ser adotada como substituta global para reconstruir as mudanças climáticas passadas. Assim, durante o período mais frio da PEG, a temperatura global da superfície oceânica pode ter sido cerca de 1,0 a 1,5 °C mais fria do que no período 1950-1980 (MAZZARELLA; SCAFETTA, 2018)

aquecimento antropogênico da variabilidade natural, bem como simular com precisão a fase, o período e a amplitude da variabilidade natural.

Infelizmente, mesmo os modelos climáticos da linha CMIP – em todas as suas versões, inclusive a última geração – ainda confundem a variabilidade natural do clima e a tendência de aquecimento antropogênico, mostrando baixa habilidade para simulações de variabilidade natural, que é a principal causa pela qual eles falham em simular o hiato de aquecimento global recente (WEI et al., 2019). Quando se incorpora a variabilidade natural interna nos modelos climáticos, eles fornecem estimativas boas da taxa de aquecimento recente, a exemplo dos trabalhos de Risbey et al. (2014) e Kosaka e Xie (2013, 2016). Nesse último trabalho, os autores reproduziram perfeitamente o hiato do aquecimento global ao prescrever as anomalias de temperatura superficial oceânica observadas no Pacífico oriental equatorial como um marca-passo em seu modelo climático global acoplado. Portanto, para melhorar a habilidade de simulação e previsão das mudanças climáticas e atribuir corretamente as mudanças climáticas, os modelos climáticos devem separar exatamente a mudança externa forçada da variabilidade natural não forçada, aumentando, assim, a capacidade de simular variabilidades naturais chave como o ENOS, a OMA e a ODP.

A recente desaceleração do aquecimento global desafiou a compreensão sobre a dinâmica do clima e das forças antrópicas. Ao tentar entender esse fenômeno, a comunidade científica, por meio de modelagem intensiva e esforços de análise, parece estar obtendo um melhor reconhecimento do papel da variabilidade interna multidecadal nas mudanças climáticas e uma avaliação mais clara sobre vários fatores de forçamentos externos. O hiato do início dos anos 2000 mostra que vive-se em uma época especial na história da Terra, quando o aquecimento antropogênico e a variabilidade interna podem contribuir, igualmente, para mudanças da temperatura média global em escalas de tempo de uma década ou mais. Voltando no tempo, cabe resgatar que a primeira previsão sazonal bem-sucedida do El Niño foi feita há 30 anos, usando apenas um modelo simples de física essencial mínima. O subsequente reconhecimento da importância de outros ciclos climáticos interdecadais e multidecadais é algo ainda mais recente. Nesse contexto de relativa incipiência científica a respeito dos ciclos climáticos, uma verdade é absoluta: para prever, deve-se primeiro compreender (XIE, 2016).

Para decifrar fenômenos climáticos complexos e ainda aparentemente “inexplicáveis” segundo a visão convencional dos MCGs, estes fundamentados em fatores exclusivamente antropogênicos, é crucial olhar o problema de outras formas; é preciso dispender esforços em ideias alternativas, como os modelos aqui apresentados, que reconhecem a significativa magnitude da variabilidade natural e incorporam sua influência nas oscilações no clima. No afã de verdadeiramente compreender o clima é exigido, acima de tudo, o ímpeto de uma abordagem analítica e crítica da visão hegemônica, contudo, propositiva de uma alternativa pacificadora e harmônica.



**VOLUME 1**

**PARTE II**

**ABORDAGEM ESTATÍSTICA:**

**Avaliação e Previsão da Temperatura do Ar**



## VOLUME 1 – PARTE II

**CAPÍTULO 4****SÉRIES TEMPORAIS:****Métodos de Análise –  
Histórico, Conceitos e Ferramentas****4.1. INTRODUÇÃO**

A Ciência visa à interpretação e extração de padrões da natureza, mas nem sempre os dados coletados exibem características obviamente nítidas que favoreçam conclusões certas e esclarecedoras. Nesse sentido, o presente capítulo brevemente introduz os fundamentos e técnicas estatísticas que favorecem uma análise de dados eficiente na descrição e representação visual dos dados, com ênfase no uso gráficos<sup>159</sup> – estes adotados como indispensáveis auxiliares na inferência e compreensão do mecanismo gerador de dados em determinado processo.

Utilizando-se de conceitos de distintas áreas, incluindo *processamentos de sinais e análise de séries temporais*, são resumidas algumas das propriedades imediatas da *Série de Fourier*, *Transformadas de Fourier*, entre outras técnicas mais modernas que foram sendo desenvolvidas desde o séc. 20. Considerando a intenção de realizar aplicações práticas específicas dos conceitos subjacentes às diversas técnicas e ferramentas atualmente implementadas computacionalmente, os aspectos matemáticos teóricos não serão abordados profunda e completamente, limitando-se somente à apresentação de equações matemáticas elementares e essenciais. Resgatando a premissa de conduzir a apresentação do tema de modo introdutório e didático, almeja-se aqui apresentar um enfoque menos formal do ponto de vista matemático, isto é, com um rigor relativamente simplificado. Assim, evita-se a apresentação de numerosas e complexas equações, definições e deduções, entre outras abstrações típicas de uma abordagem puramente matemática<sup>160</sup> – bases conceituais de suma importância, faceta tipicamente adotada pelas fontes

---

<sup>159</sup> Adota-se como pressuposto o seguinte entendimento de Ptolomeu: “o que é fornecido pela razão é mais ensinável e melhor lembrado por nós com diagramas e figuras” (PTOLEMY, 2000, p. 141, item 94.1).

<sup>160</sup> Como fundamentação de uma abordagem que privilegia os aspectos práticos, invés dos teóricos, adota-se a seguinte premissa expressa por Bronowski (1984): muitos enfoques da matemática moderna são divorciados do universo físico em que existem, o que cria pelo menos dois problemas. Primeiro, uma proporção cada vez maior da população em geral não tem a menor compreensão da Matemática moderna. Segundo, as monumentais

consultadas, mas cujo formato não se adequaria ao propósito do caso em tela. Nesse contexto, para fins de melhor visualização e compreensão dos conceitos, preferencialmente, e sempre que possível, será adotada uma abordagem visual, ilustrada por meio do uso de figuras e gráficos, elaborados a partir de funções simples e de dados do mundo real. Assim, com o enfoque em demonstrar as abstrações matemáticas por meio de exemplos concretos visuais, tal perspectiva se mostrará uma experiência útil para familiarizar e garantir a solidez da compreensão dos conceitos abstratos.

Antes de se aprofundar nos conceitos matemáticos atuais e aplicações práticas decorrentes, merece destaque a breve revisão<sup>161</sup> sobre o surgimento os princípios da harmonia na Música, na Matemática e na Astronomia, temática cuja leitura é recomendada para alimentar aqueles que têm apetite intelectual por curiosidades históricas interessantes.

Da segunda parte do capítulo em diante, aborda-se a análise de séries temporais com ênfase no domínio da frequência, contemplando: a decomposição da série temporal em partes associadas a frequências de ocorrências de alguns eventos, o que destaca suas componentes cíclicas; e o uso do *espectrograma*, ferramenta visual adequada na análise de processos estacionários do domínio da frequência.

#### 4.2. PROCESSAMENTO DE SINAIS<sup>162</sup>

O sinal é a verdade. O ruído é o que nos distrai da verdade. (SILVER, 2012, p. 21)

Qualquer valor obtido por uma medição contém dois componentes:

- *Sinal*: contém a informação de interesse; e
- *Ruído*: consistindo em erros aleatórios, o ruído é sobreposto no primeiro componente (sinal). Esses erros aleatórios são, obviamente, indesejados porque diminuem a exatidão e a precisão da medição.

Em uma série temporal, o termo *sinal* é usado às vezes para o sinal puro e livre de ruído, mas às vezes também para os dados brutos ruidosos. Originário no ramo das telecomunicações,

---

fortalezas impenetráveis de abstração que abrigam a Matemática moderna não estão mais sujeitas à disciplina da realidade física. Parece improvável que essas duas condições possam continuar indefinidamente, e nisso há uma moral para o Matemático profissional. Em algum nível, a Matemática deve ser relevante para a sociedade que apoia sua criação e evolução.

<sup>161</sup> Abordado no “APÊNDICE E - ANÁLISE HARMÔNICA: Breve Retrospectiva Histórica” (p. 385).

<sup>162</sup> Baseado em Morettin e Tolo (2006).

o termo *ruído* descreve o sinal indesejado (“chiado”) que ouve-se quando não se sintoniza o rádio exatamente em uma frequência designada a uma estação emissora, ou aos “chuviscos” na imagem de uma televisão com recepção de um sinal fraco ou com interferências.

Dados livres de ruídos nunca podem ser realizados na prática, já que alguns tipos de ruído são o resultado de efeitos termodinâmicos e quânticos que não podem ser evitados durante uma medição eletrônica. Mas as medições produzidas a partir de dispositivos não eletrônicos também estão contaminadas com erros aleatórios.

Visando extrair informações do sinal bruto, o *processamento de sinais* é tema típico nas Engenharias Acústica, Elétrica e Eletrônica, mas com cada vez mais aplicações nos campos da Física, Química, Climatologia, Geologia, entre outras Ciências da Terra.

A dificuldade de atingir o objetivo da detecção do sinal depende tanto das características do sinal “limpo” (sem o ruído) quanto do ruído. Por exemplo, um dos principais aspectos do processamento de sinais é a relação sinal-ruído (abreviada por *SNR*, do Inglês *Signal-to-Noise Ratio*; ou RSR, em Português, ou menos comumente  $S/N$ ), que representa a razão entre a intensidade do sinal e a intensidade do ruído. Quanto maior (menor) a proporção, mais fácil (difícil) é extrair informações e mais (menos) confiáveis são os resultados.

Embora a relação SNR seja comumente citada na análise de sinais elétricos, ela pode ser aplicada a qualquer forma de sinal, por exemplo, níveis de isótopo em um núcleo de gelo, sinalização bioquímica entre células ou sinais de negociação financeira.

#### 4.2.1. Análise de dados

A análise de dados tem sido uma das principais atividades da pesquisa científica, já que os dados são a única forma de enxergar realidades ainda inexplicáveis. Assim, por meio da análise de dados, pode-se descobrir os processos subjacentes de qualquer fenômeno. Como o objetivo mais importante da pesquisa científica é compreender a natureza, a análise de dados é um elo crítico no ciclo de pesquisa científica de observação, análise, síntese e teorização.

Vários campos da Ciência e da Engenharia desenvolveram suas próprias nomenclaturas, atribuindo nomes diferentes aos mesmos conceitos, mas, na essência, a análise de dados é a mesma em todas as áreas: ela representa uma combinação de estatística, métodos de visualização e habilidades. Assim, é preciso reunir conhecimento e experiência consideráveis para realizar a análise de dados de maneira eficiente. A metodologia estatística como base da análise de dados diz respeito a dois tipos básicos de problemas:

- *Estatística descritiva*: resumir, descrever e explorar os dados; e

- *Estatística inferencial*: inferir a natureza do processo produtor dos dados que foram amostrados. Por meio da modelagem preditiva, permite prever resultados com base na avaliação da probabilidade de uma unidade semelhante em uma amostra exibir comportamento similar.

Uma distinção pode ser feita de acordo com o número de variáveis envolvidas na análise de dados. Se apenas uma variável for usada, os procedimentos estatísticos serão resumidos como *estatísticas univariadas*. Mais de uma variável resulta em *estatísticas multivariadas*. Um caso especial de estatística multivariada com apenas duas variáveis é às vezes chamado de *estatística bivariada*.

#### 4.2.1.1. Estatística descritiva

Ao oferecer métodos para resumir uma coleção de dados a estatística desempenha um papel importante na descrição de fenômenos com elevada diversidade e complexidade de informações. Tais métodos podem ser numéricos ou gráficos, ambos com suas próprias vantagens e desvantagens. Os métodos gráficos são mais adequados para o reconhecimento de padrões nos dados, enquanto os métodos numéricos fornecem medidas bem definidas de algumas propriedades. Em geral, recomenda-se usar as duas abordagens para a descrição dos dados.

A estatística descritiva é um ramo da estatística que tenta descrever os dados observados por parâmetros coletivos. Ela não faz nenhuma declaração sobre a população subjacente às amostras, mas simplesmente descreve os dados como eles são. A estatística descritiva usa as seguintes formas para caracterizar e visualizar os dados:

- *Tabulação*: Tabular dados é talvez a maneira mais primordial como os dados são simplesmente listados como eles foram medidos. A representação tabular mais comum é o arranjo em uma matriz ou grade, onde as colunas são as variáveis e as linhas são as observações. Uma desvantagem dessa abordagem primitiva pode ser vista nas dificuldades substanciais dos seres humanos em interpretar tabelas numéricas sem análise adicional de dados;
- *Representação gráfica*: uma representação gráfica é mais adequada para reconhecer imediatamente a relação entre os dados. Isso se deve ao sistema de percepção visual dos seres humanos, que é relativamente bom em reconhecer padrões. No entanto, deve-se ter cautela ao olhar para diagramas gráficos, pois o sistema de percepção humana pode ser enganado por diagramas especialmente projetados. Representações gráficas típicas usadas

em estatísticas descritivas são: histogramas, gráficos de pizza ou diagramas de caixa (*boxplots*);

- *Parâmetros estatísticos*: parâmetros que descrevem um ou mais aspectos de um conjunto de dados oferecem certamente a maneira mais neutra de caracterizar os dados. Parâmetros típicos são a média, a mediana, o desvio padrão ou a correlação. No entanto, como os parâmetros estatísticos são univariados por sua natureza, reduzem em grande parte as informações contidas nos dados.

Um campo estreitamente relacionado à estatística descritiva é a análise exploratória de dados, que pode ser vista em contraste com o teste de hipóteses tradicional. Embora o teste de hipóteses sempre exija uma suposição *a priori* (ou hipótese) sobre os dados (por exemplo, “existe uma diferença na expectativa de vida entre fumantes e não fumantes”), a análise exploratória de dados não se baseia em quaisquer suposições anteriores. Qualquer método pode ser usado para identificar relações sistemáticas entre as variáveis.

Em uma típica análise exploratória de dados, todas as variáveis são levadas em conta usando métodos gráficos (por exemplo, gráficos de dispersão) e formais (por exemplo, análise de componentes principais) para procurar padrões sistemáticos.

#### 4.2.1.2. Estatística inferencial

Outro grande ramo da estatística que amplia e complementa a mera descrição de dados é a estatística inferencial. A estatística inferencial (ou estatística dedutiva) é usada para tirar conclusões sobre um conjunto de dados e suas informações subjacentes. Geralmente, isso significa inferências sobre uma população usando uma ou mais amostras dessa população. Dois campos importantes da estatística inferencial são o *teste de hipóteses* e a *estimação de parâmetros ou modelos*.

A estatística inferencial usa a teoria da probabilidade para desenvolver métodos de estimativa adequados para tirar conclusões de amostras sobre as populações correspondentes. Isso geralmente resulta em uma estimativa mais ou menos precisa, cuja precisão é determinada por intervalos de confiança.

#### 4.2.1.3. Dados

A base de todas as análises estatísticas são os *dados*. O conjunto de dados a ser analisado deve descrever uma ou mais de uma característica do objeto observado. Ao analisar dados, deve-se estar atentos à fonte dos dados, tendo em mente os seguintes pontos:

- Detalhes da aquisição de dados: o tipo de aquisição de dados (manual, automático, resolução de frequência e intensidade, plano de amostragem, etc.) pode influenciar consideravelmente os resultados e pode exigir diferentes métodos de interpretação;
- Se os dados medidos são uma população ou uma amostra. Diferentes fórmulas e a precisão dos resultados seguem a partir disso;
- Precisão das medições: esse conhecimento é necessário para evitar um número excessivo de casas decimais;
- Se a variável observada é realmente significativa para o problema ser resolvido. Em alguns casos, a seleção das variáveis significativas não é óbvia *a priori*; e
- Qual é exatamente o problema a ser resolvido? Pode ser demonstrado que o uso de um conjunto de métodos estatísticos por tentativa e erro (especialmente estatísticas de teste) aumenta a probabilidade de tirar certas conclusões.

#### 4.2.1.3.1 Variabilidade

Sempre que algumas medidas são tomadas, é preciso lidar com a variabilidade (ou dispersão) nos dados. Na verdade, virtualmente todos os processos naturais variam – mesmo aqueles que produzem resultados “constantes” mostram flutuações se o tempo de observação for longo o suficiente ou a escala da medida for ampliada. Exemplos:

- A quantidade real de açúcar em um pacote de 1 kg pode variar entre 0,95 e 1,05 kg;
- A temperatura da água em ebulição varia de acordo com a pressão e com a quantidade de substâncias dissolvidas. Assim, os pontos de ebulição de várias marcas de diferentes águas minerais diferem ligeiramente uns dos outros; e
- A quantidade de chuva em julho varia de lugar para lugar e de ano para ano.

A estatística ajuda no enfrentamento de situações na presença de variabilidade, cujas causas podem ser:



- *Variabilidade do processo*: introduzida pelo processo sob investigação; e
- *Variabilidade da medição*: introduzida pelo procedimento de medição.

A variabilidade nos dados é muitas vezes referida como o *ruído* que obscurece o sinal verdadeiro.

#### 4.2.1.3.2 Tipos de ruído

O ruído pode ser classificado em várias categorias. Para a descrição do ruído, pode-se usar algumas propriedades estatísticas que são descritas em mais detalhes a seguir.

Normalmente, assume-se que os erros aleatórios são completamente independentes um do outro. Ou seja, existe a seguinte suposição de independência: o erro em um horário específico não influencia o erro em outro momento. No entanto, em sinais práticos, muitas vezes tal suposição não é verdadeira, e as partes aleatórias do sinal são (auto)correlacionadas. Fala-se em autocorrelação porque a correlação ocorre dentro do mesmo sinal. O grau de correlação entre erros aleatórios em diferentes momentos pode ser descrito pela função de autocorrelação (FAC) ou seu equivalente, a densidade espectral de potência (*PSD*, sigla em Inglês para *power spectral density*). A alguns ruídos típicos, com diferentes formatos de PSD (a serem apresentados adiante), foram atribuídos nomes de cores:

- *Ruído branco*: os erros aleatórios são independentes um do outro, e o espectro é uniforme;
- *Ruído rosa*: a intensidade do ruído diminui com o aumento da frequência; também é chamado de ruído  $1/f$ ;
- *Ruído vermelho*: a intensidade nas baixas frequências prevalece em relação à média; e
- *Ruído azul*: a intensidade nas altas frequências prevalece em relação à média.

Na maioria dos casos, o ruído exibe uma distribuição normal (ruído branco). Instrumentos complexos têm muitas fontes de ruído que se envolvem entre si, resultando em uma distribuição normal devido ao teorema do limite central.

Sobre a origem física dos ruídos, chama-se de ruído fundamental quando surge da natureza da partícula da luz e da matéria (ruído térmico gerado pelo movimento browniano de elétrons ou partículas carregadas) e nunca pode ser totalmente eliminado, enquanto o ruído não

fundamental (ou excessivo) é devido a componentes e instrumentação imperfeitos e pode, pelo menos teoricamente, ser eliminado.

#### 4.2.1.3.3 Intervalo de confiança

Uma tarefa frequente da estatística é a estimativa (mais correta) de um determinado parâmetro (por exemplo, o valor médio). Embora o cálculo de um parâmetro seja baseado em uma fórmula matemática simples na maioria dos casos, a situação geralmente é complicada pelo fato de geralmente não se conhecer a população, mas apenas uma parte dela (uma amostra).

Para a população, o procedimento é simples e claro: o parâmetro é calculado de acordo com a fórmula correspondente, a precisão do valor calculado depende exclusivamente da precisão da medição ou cálculo. No entanto, se apenas uma amostra estiver disponível, o parâmetro calculado irá flutuar dentro de certos limites quando calculado para outras amostras da mesma população. O parâmetro calculado irá flutuar em torno do valor real – o que não se sabe porque a população não é conhecida.

Se for possível saber o parâmetro calculado de uma amostra, a dúvida que surge agora é: em qual intervalo está o valor verdadeiro? Esta questão não pode ser respondida com absoluta certeza, mas apenas com uma certa probabilidade, uma vez que a amostra utilizada também poderia ter um desvio aleatório extraordinário e, portanto, o parâmetro calculado a partir dela estaria longe do valor verdadeiro.

Para entender o problema da estimativa correta de um parâmetro, uma estimativa de probabilidade é usada. Calcula-se o parâmetro da amostra e, adicionalmente, uma área em torno do parâmetro da amostra, que inclui o valor verdadeiro com uma certa probabilidade  $p$ . Para  $p$ , geralmente utiliza-se os níveis de 95%, 99% ou 99,9% como concebíveis. Essa probabilidade é chamada de *nível de confiança* (ou coeficiente de confiança), e o intervalo para o parâmetro de amostragem é chamado de *intervalo de confiança*.

#### 4.2.2. Sinais como séries temporais

No sentido tradicional de muitos ramos das engenharias, os *sinais* são frequentemente caracterizados como séries temporais, já que os dados são medidos em intervalos equidistantes de tempo. No entanto, os métodos desenvolvidos para o processamento de séries temporais podem ser aplicados a qualquer outro sinal, desde que a variável independente seja medida em pontos equidistantes. Isso abre uma ampla gama de métodos para processar sinais que

originalmente não são sinais de tempo, ou seja, suavização, integração, diferenciação, todos os tipos de filtros, etc.

Séries temporais podem ser tratadas matematicamente como uma série de números. Se a série medida for considerada composta por uma relação funcional mais uma parte aleatória não determinística, a série temporal pode ser indicada como:

$$Z_t = f(t) + u_t$$

onde:

$Z_t$  são os valores da série no tempo  $t$ ,  
 $f(t)$  representa a relação funcional; e  
 $u_t$  é a contribuição aleatória (ruído) no tempo  $t$ .

Assim, qualquer valor obtido por uma medição contém dois componentes: um contém a informação de interesse (*signal*), o outro consiste em erros aleatórios (*ruído*), que é sobreposto ao primeiro componente. Esses erros aleatórios são, obviamente, indesejados porque diminuem a exatidão e a precisão da medição.

### 4.3. FUNDAMENTOS DE SÉRIES TEMPORAIS<sup>163</sup>

#### 4.3.1. Séries

Na Matemática, uma *série* é a descrição da operação de, dada uma quantidade inicial, adicionar muitas quantidades, uma após a outra, infinitamente. Em outras palavras, qualquer sequência infinita ordenada ( $a_1, a_2, a_3, \dots$ ) de termos (números, funções ou qualquer coisa que possa ser adicionada) define uma série, que é a operação de adicionar um termo  $a_{i+1}$  após o termo predecessor  $a_i$ . Para enfatizar que há um número infinito de termos, uma série pode ser chamada de *série infinita*. Tal série é representada pela expressão:

$$\sum_{n=1}^{\infty} a_n = a_1 + a_2 + a_3 + \dots + a_n + \dots \quad (1)$$

---

<sup>163</sup> Baseado em Morettin e Tolo (2006).

### 4.3.2. Séries temporais

Morettin e Tolo (2006) definem sucintamente que “uma *série temporal* é qualquer conjunto de observações ordenadas no tempo”. Para Latorre e Cardoso (2001): “série temporal, também denominada série histórica, é uma sequência de dados obtidos em intervalos regulares de tempo durante um período específico”. Segundo Antunes e Cardoso (2015), séries temporais “são sequências de dados quantitativos relativos a momentos específicos e estudados segundo sua distribuição no tempo”.

Em termos matemáticos, uma série temporal é definida pelos valores  $y_1, y_2, y_3, \dots, y_n$  de uma variável  $y$ , nos tempos  $t_1, t_2, t_3, \dots, t_n$ . Portanto,  $y$  é uma função de  $t$  simbolizada por  $y = f(t)$ , ou  $y = Z(t = 1, 2, 3, \dots, n)$ .

Sob a ótica de Pereira, Pais e Sales (1986), acrescenta-se uma característica probabilística (aleatória) ao dizerem que “uma série temporal (...) é uma coleção de observações, feitas de instantes de tempo e sujeitas a variações aleatórias”. Sobre tal aspecto, adiante neste capítulo são apresentadas as relações conceituais entre séries temporais, variáveis aleatórias e processos estocásticos.

### 4.3.3. Classificação de séries temporais

As séries temporais podem ser divididas em *discretas* em *contínuas*:

- **Séries temporais discretas:** as observações são obtidas por períodos específicos igualmente espaçados. Exemplos: valores diários de poluição na cidade de São Paulo; valores mensais de temperatura na cidade de São Carlos/SP; índices diários da Bolsa de Valores de São Paulo; índice mensal da inflação brasileira; precipitação atmosférica anual na cidade de Fortaleza/CE; número médio anual de manchas solares.
- **Séries temporais contínuas:** as observações são registadas ininterruptamente durante um determinado período de tempo. Exemplos: registro de marés no porto de Santos/SP; registro do eletrocardiograma de uma pessoa; monitoramento de vibrações, movimentos de solo e terremotos, por meio de um sismógrafo.

Os componentes de uma série temporal podem ser classificados como *determinísticos* ou *estocásticos*:

- **Componentes determinísticos:** quando os valores da série podem ser descritos por uma função matemática perfeitamente determinada por uma ou mais variáveis;
- **Componentes estocásticos ou aleatórios:** quando os valores são gerados por um processo estocástico, de variável aleatória.

#### 4.3.4. Componentes das séries temporais

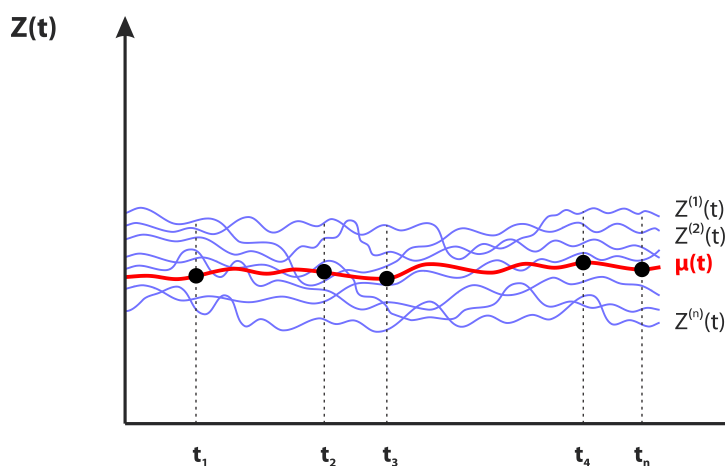
Normalmente as séries temporais são analisadas a partir de seus principais componentes (PEREIRA; PAIS; SALES, 1986; SHIKIDA; MARGARIDO, 2009):

- **Tendência:** capta elementos de longo prazo relacionados com a série de tempo, podem ser resultantes de mudanças sociais, tecnológicas, condições de mercado, meio ambiente, entre outros. A dificuldade está em definir longo prazo. Por exemplo, variações climáticas às vezes exibem variações com períodos de 50 anos. Se tiver disponível uma série de 20 anos de dados, esta variação cíclica de longo prazo pode ser confundida com a tendência.
- **Componente sazonal:** caracterizado por um movimento oscilatório, em intervalos de curta duração (diária, semanal, mensal), que traduz a influência de fatores periódicos nos valores da série, ou seja, indica um fenômeno que ocorre regularmente em períodos fixos de tempo. Exemplos: mudanças de temperatura (que possuem variação anual periódica, baixando no inverno e aumentando no verão), índice pluviométrico, safra ou entressafra de produtos agropecuários, vendas da indústria, vendas do varejo, entre outros. A existência de sazonalidade numa série pode ser verificada por análise espectral. Havendo sazonalidade determinística, pode ser utilizados modelos de regressão que incorporem funções de seno e cosseno. A sazonalidade é possível de ser medida e extraída dos dados, fornecendo uma série *dessazonalizada*.
- **Ciclos:** caracterizados por longas ondas, mais ou menos regulares, em torno de uma linha de tendência. O interesse pelos ciclos está diretamente relacionado com seus pontos de mudanças, também denominados de pontos de inflexão, duração, frequência etc. Em economia, está relacionado com os ciclos econômicos (variando entre 5 a 7 anos), visando determinar períodos de prosperidade, recessão, entre outros. Alguns dados hidrológicos parecem obedecer ciclos com períodos de 50 anos. Basicamente, as variações cíclicas são variações periódicas com período sujeito a pequenas variações, em contraste com a sazonalidade cujo período é constante.

- **Componente aleatório:** caracterizados por movimento oscilatório de curta duração, que exprime a influência de valores esporádicos e, por isso, está relacionado com a imprevisibilidade e a aleatoriedade das observações. Capta todos os efeitos que não foram incorporados pela série de tempo via os três componentes anteriormente citados. Isto é, dada uma série temporal, se removidas as componentes de tendência, sazonal e cíclica, o que sobra, o “resto”, é também referido como *resíduo*, *ruído* ou *componente irregular*. Se a componente residual apresenta um comportamento aleatório em torno de zero, com variância constante ao longo do tempo, ela é denominada de *ruído branco* (ou *resíduo Gaussiano*).

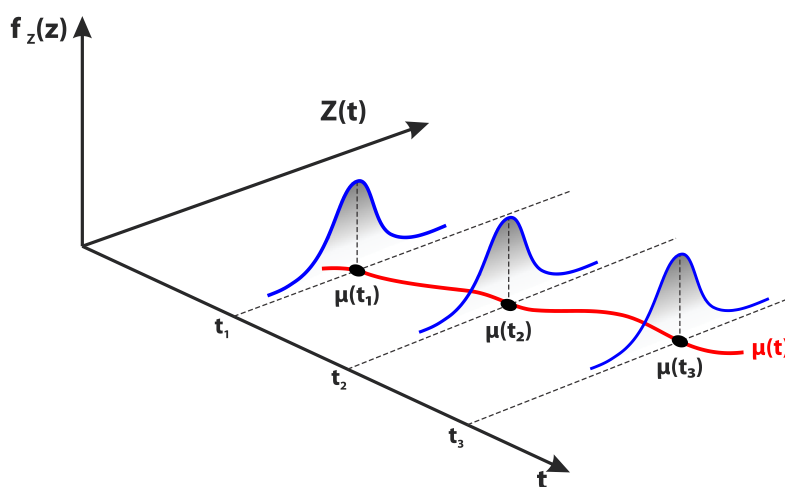
#### 4.3.5. Processo estocástico, trajetória e variável aleatória

Considere-se como exemplo os valores registrados de temperatura do ar, em dado local, durante 24hs, em alguns dias diferentes (**Figura 127**). Define-se  $Z(t)$  a temperatura no instante  $t$ . Para os dias diferentes, observa-se que as curvas não são, em geral, as mesmas. Tais curvas, denominadas de *trajetórias* (ou *realização*) do processo físico em análise, representam uma *série temporal* (ou *função amostral*). Por consequência, o *processo estocástico* é o conjunto de todas as possíveis trajetórias que podem ser observadas. Assim, os conceitos de processos estocásticos e séries temporais são análogos, respectivamente, aos conceitos de população e amostra na Estatística Elementar. A distinção da análise de séries temporais de outras análises estatísticas é o reconhecimento explícito sobre a importância na ordem em que as observações são feitas, isto é, da dependência temporal entre as observações.



**Figura 127** – Séries de temperatura do ar, em dado local, durante 24hs, em alguns dias diferentes, representando um processo estocástico como uma família de trajetórias (curvas azuis; curva vermelha,  $\mu(t)$ , denota a média das trajetórias). Fonte: adaptado de Morettin e Tolo (2006).

Ainda analisando a **Figura 127**, considera-se:  $Z^{(1)}(t)$  a temperatura no instante  $t$ , no dia 1;  $Z^{(2)}(t)$  a temperatura no instante  $t$ , no dia 2, e assim por diante, até o  $n$ -ésimo dia,  $Z^{(n)}(t)$ . Ao tomar  $Z^{(1)}(8)$ , o valor da temperatura no instante  $t = 8$ , no 1º dia, obtêm-se um número real; ao tomar  $Z^{(2)}(8)$ , o valor da temperatura em  $t = 8$ , no 2º dia, obtêm-se outro número real. Para cada  $t$  fixo, têm-se os valores de uma variável aleatória de  $Z(t)$ , que terá certa distribuição de probabilidades, conforme ilustrado na **Figura 128** a seguir:



**Figura 128** – Temperatura do ar (curva vermelha), em dado local, durante 24hs, representando um processo estocástico como uma família de variáveis aleatórias (curvas azuis: densidade de probabilidade). Fonte: adaptado de Morettin e Toloi (2006).

Nota-se que uma série temporal é uma parte de uma trajetória, dentre muitas que poderiam ser observadas. Em algumas situações, quando existem dados experimentais (como em Oceanografia e Climatologia), é possível observar algumas trajetórias do processo sob consideração. Mas, na maioria dos casos (como em Economia ou Astronomia), quando não é possível fazer experimentações, existe somente uma trajetória para análise.

No contexto da análise de séries temporais,  $t$  comumente denota o tempo, mas a série  $Z(t)$  pode também ser função de algum outro parâmetro físico, como espaço e volume.

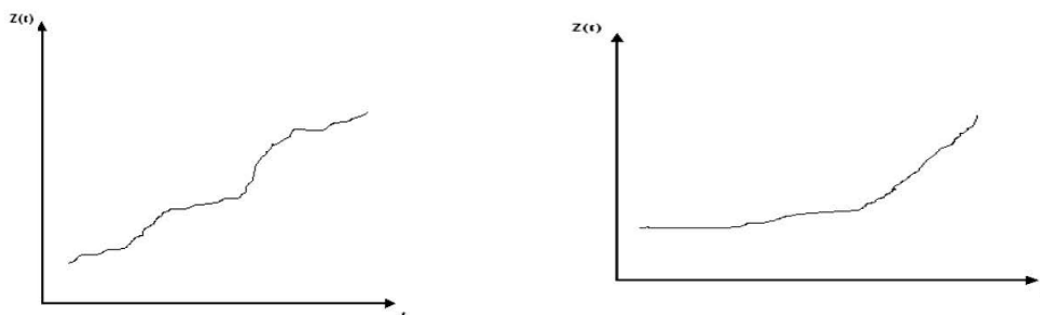
Normalmente, uma série temporal pode ser assumida como um vetor  $Z(t)$ , de ordem  $r = 1$ , em que  $t$  é a única dimensão, ou seja, possui valor  $P = 1$ . No exemplo da **Figura 127**, onde a temperatura  $Z(t)$  varia somente de acordo com o tempo  $t$ , tem-se um caso univariado ( $r = 1$ ) e unidimensional ( $p = 1$ ).

Em outro exemplo, considerando uma série  $Z(t) = [Z_1(t), Z_2(t), Z_3(t)]$ , onde as três componentes  $Z_1(t)$ ,  $Z_2(t)$ ,  $Z_3(t)$  denotam, respectivamente, a altura, a temperatura e a pressão de um ponto do oceano e  $t = (\text{tempo}, \text{latitude}, \text{longitude})$ . Considera-se que essa série é multivariada ( $r = 3$ ) e multidimensional ( $p = 3$ ).

#### 4.3.6. Estacionareidade

A *estacionariedade* pode ser definida como a condição de uma série cujo desenvolvimento no tempo é aleatório ao redor de uma média constante. Assim, uma série é *estacionária* quando não possui tendência; e a média, variância e estrutura de autocorrelação são constantes no decorrer do tempo, refletindo alguma forma de equilíbrio estável.

A maior parte das séries encontradas na prática são *não-estacionárias*, exibindo tendências, ciclos, padrões sazonais e outros comportamentos não-estacionários. Assim, as séries econômicas e financeiras apresentam em geral *tendência*, sendo o caso mais simples a série que flutua ao redor de uma reta (*tendência linear*), com inclinação positiva [Figura 129-(A)] ou negativa. Já o crescimento exponencial de uma colônia de bactérias possui uma forma de não-estacionariedade *explosiva* [Figura 129-(B)].



**Figura 129** – Exemplos de séries não-estacionárias: (A) tendência linear positiva; (B) tendência explosiva. Fonte: adaptado de Morettin e Tolo (2006).

#### 4.3.7. Sazonalidade e ciclos

A *sazonalidade*<sup>164</sup> é uma propriedade típica de séries temporais que apresentam flutuações periódicas com intervalos regulares específicos de menos de um ano, como semanal, mensal ou trimestral. Em uma série temporal, a presença de variações repetitivas, geralmente regulares e previsíveis, pode ser causada por vários fatores, como clima, férias e feriados. Se a sazonalidade estiver presente, ela deve ser incorporada no modelo de série temporal.

<sup>164</sup> *Sazonalidade* significa que está ligado às estações do ano. A palavra *sazonal* vem do latim *satio*, que significa plantar ou semear. Associada à primavera, principal época de semeadura, *satio* ganhou uma ligação com as estações do ano. Em português, a palavra *estação* não deriva de *satio*, mas de uma palavra do latim bem parecida, *statio*, a qual significa o estado fixo de alguma coisa (estação de trem, ou, no caso em específico aqui, estação do clima em cada época do ano). Embora sazonal signifique algo relativo às estações, a evolução da palavra sazonal em português foi independente da palavra estação. Em outras línguas, a palavra estação (*statio*) deu origem ao francês *saïson* e ao inglês *season*. Então, a partir de uma dessas línguas que provavelmente surgiu a palavra *sazonal* em português (DICIONÁRIO ETIMOLÓGICO, 2021).



Ainda que possuam certa similaridade com flutuações sazonais, *ciclos* em uma série temporal ocorrem quando os dados exibem aumentos e quedas que não são de um período fixo.

Em suma, se as flutuações não são de uma frequência fixa, então elas são cíclicas; se a frequência é inmutável e associada a algum aspecto do calendário, o padrão é sazonal. Em geral, a duração média dos ciclos é maior que o comprimento de um padrão sazonal, e as magnitudes dos ciclos tendem a ser mais variáveis que as magnitudes dos padrões sazonais.

Generalizando, as componentes sazonais e cíclicas são comumente designadas como *componentes periódicas*.

#### 4.4. ANÁLISE DE SÉRIES TEMPORAIS<sup>165</sup>

Com a análise de uma série temporal, em primeiro lugar deseja-se modelar o fenômeno estudado, ou seja, entender o mecanismo do sistema gerador da série temporal. Na sequência, pretende-se prever o comportamento futuro do sistema ao descrever a evolução da série e obter estimativas de parâmetros dos fatores que influenciam o seu comportamento. A análise de séries temporais pode contemplar vários tipos de motivação e diferentes finalidades. Obtida uma série temporal, a análise dela permite:

- I. Descrever o comportamento da série. Neste caso, ferramentas úteis incluem a construção de gráficos, de histogramas e diagramas de dispersão; a verificação da existência de tendências, ciclos, variações sazonais etc.;
- II. Procurar periodicidades relevantes nos dados. Nessa tarefa, a análise espectral pode ser de grande utilidade;
- III. Investigar o mecanismo gerador da série temporal. Por exemplo, analisando uma série de alturas de ondas, pode-se saber como tais ondas foram geradas; e
- IV. Conduzir análises preditivas, permitindo a elaboração de previsões de valores futuros da série com base em valores anteriormente registados, podendo ser previsões de curto prazo, (séries de vendas, produção e estoque) ou previsões de longo prazo (séries populacionais, de produtividade etc.).

Assim, no estudo das séries temporais deve-se considerar dois aspectos principais:

---

<sup>165</sup> Baseado em Morettin e Tolo (2006).

- **Modelagem:** a principal razão de modelar uma série temporal é tornar possível previsões de valores futuros, assim como a geração de sequências sintéticas e equiprováveis. Procura-se obter um modelo matemático descritivo do sistema de maneira parcimoniosa para o objetivo desejado, buscando uma forma funcional simples e com um número mínimo de parâmetros. Se possível, o modelo deve ser parametrizado de tal forma que cada parâmetro possa ser interpretado facilmente e identificado com algum aspecto da realidade.
- **Análise:** tem como objetivo sumarizar a série e caracterizar seu comportamento, identificando ou sugerindo um modelo adequado.

A análise de séries temporais possui basicamente três enfoques:

- **Domínio do tempo:** o interesse reside na magnitude de eventos que ocorrem em determinado instante de tempo e na relação entre observações em diferentes intervalos de tempo. A análise no domínio temporal é baseada no fato de que a correlação entre valores adjacentes de uma série temporal é explicada em termos de uma regressão dos valores presentes e passados. Modelos propostos são paramétricos (com um número finito de parâmetros).
- **Domínio do tempo-frequência:** O interesse está na frequência com que certos eventos ocorrem em determinado período de tempo (movimentos cíclicos, por exemplo). A análise no domínio do tempo-frequência (frequentemente referida simplesmente *domínio da frequência*, sendo também designada como *Análise Espectral*, a qual inclui as *Análises de Fourier*<sup>166</sup>), é baseada no fato de que uma série temporal estacionária pode ser decomposta como uma superposição linear de senos e cossenos de períodos diferentes. Nessa modalidade, o objetivo é aproximar uma função do tempo por uma combinação linear de *harmônicos* (componentes senoidais). Modelos propostos são não-paramétricos (número potencialmente infinito de parâmetros).
- **Domínio do tempo-escala:** A análise no domínio do tempo-escala (também conhecida por *Análise de Ondaletas*) é apropriada para examinar processos estocásticos não

---

<sup>166</sup> As origens dessa análise remontam ao trabalho de J. B. Fourier sobre condução do calor, apresentado como manuscrito em 1807 e publicado em 1822. As aplicações modernas são inúmeras, incluindo entre elas as atuais tecnologias em comunicações (MORETTIN, 2014). Para mais detalhes sobre a história de Fourier, consultar o APÊNDICE E, item “E.2.5. Fourier: vida e obra” (p. 413).

estacionários. Ao contrário da Análise de Fourier, onde se tem somente uma base ortogonal, a várias bases de ondaletas implicam várias possíveis tipos de análises ou algoritmos, umas para cada base escolhida. Nesse aspecto, pode tornar-se difícil a escolha da base de ondaletas a ser utilizadas para um conjunto de dados.

Pode-se dizer que as análises no domínio do tempo-frequência e tempo-escala são convenientes na procura de características determinísticas da série temporal, enquanto que no domínio do tempo usa-se na análise de processos não determinísticos (ou estocásticos). Todas as três formas de análise não são alternativas, mas sim complementares, cada uma mostrando diferentes aspectos da natureza da série temporal.

#### 4.4.1. Domínio do tempo

##### 4.4.1.1. Elaboração de gráficos

Na análise de séries temporais no domínio do tempo, o primeiro passo, de extrema importância, é elaborar o gráfico das observações em função do tempo. Gráficos permitem que muitos recursos dos dados sejam visualizados, evidenciando características importantes da série como a tendência, a sazonalidade, a existência de descontinuidades e observações discordantes ou atípicas (*outliers*). A apresentação do gráfico é fundamental para descrever os dados, a relação entre os componentes, e para auxiliar na formulação do modelo.

Para dados de séries temporais, o gráfico óbvio para começar é plotar a variável observada ao longo tempo, com os valores das observações consecutivas unidas por linhas retas.

##### 4.4.1.2. Decomposição da série temporal

De modo resumido, a análise clássica de séries temporais trata, basicamente, da decomposição da série nas suas componentes tendência, sazonal, cíclica e irregular. Dada uma série temporal definida pelas observações  $Z(t = 1, 2, 3, \dots, n)$ , é possível decompor  $Z(t)$  em suas componentes tendência ( $T_t$ ), sazonal ( $S_t$ ) e aleatória ( $a_t$ ) utilizando dois modelos, aditivo e o multiplicativo:

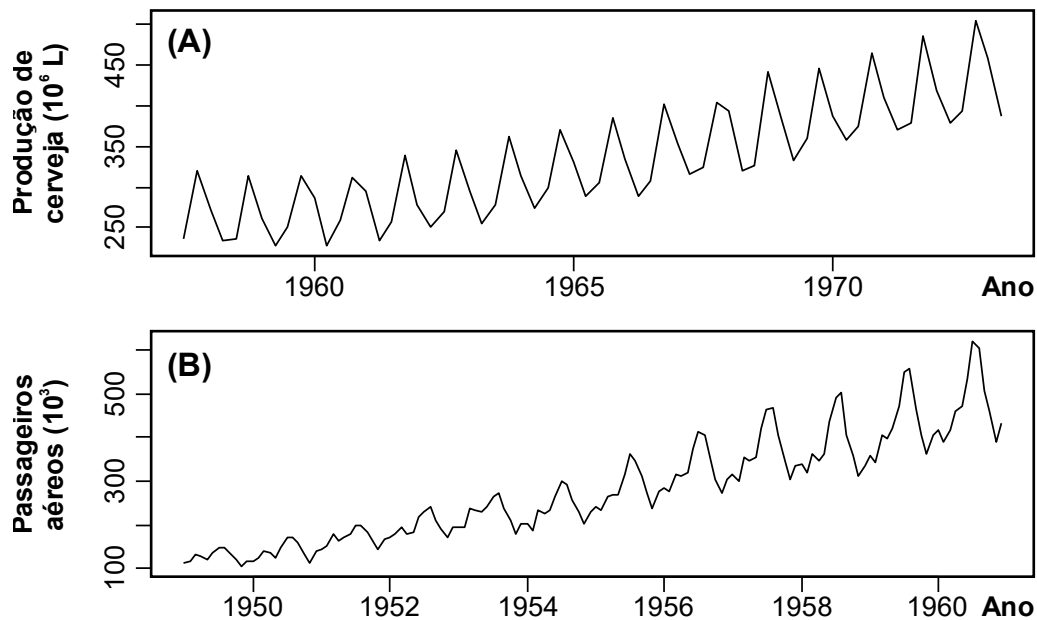
- **Modelo aditivo:**

$$Z(t) = T_t + S_t + a_t \quad (2)$$

- **Modelo multiplicativo:**

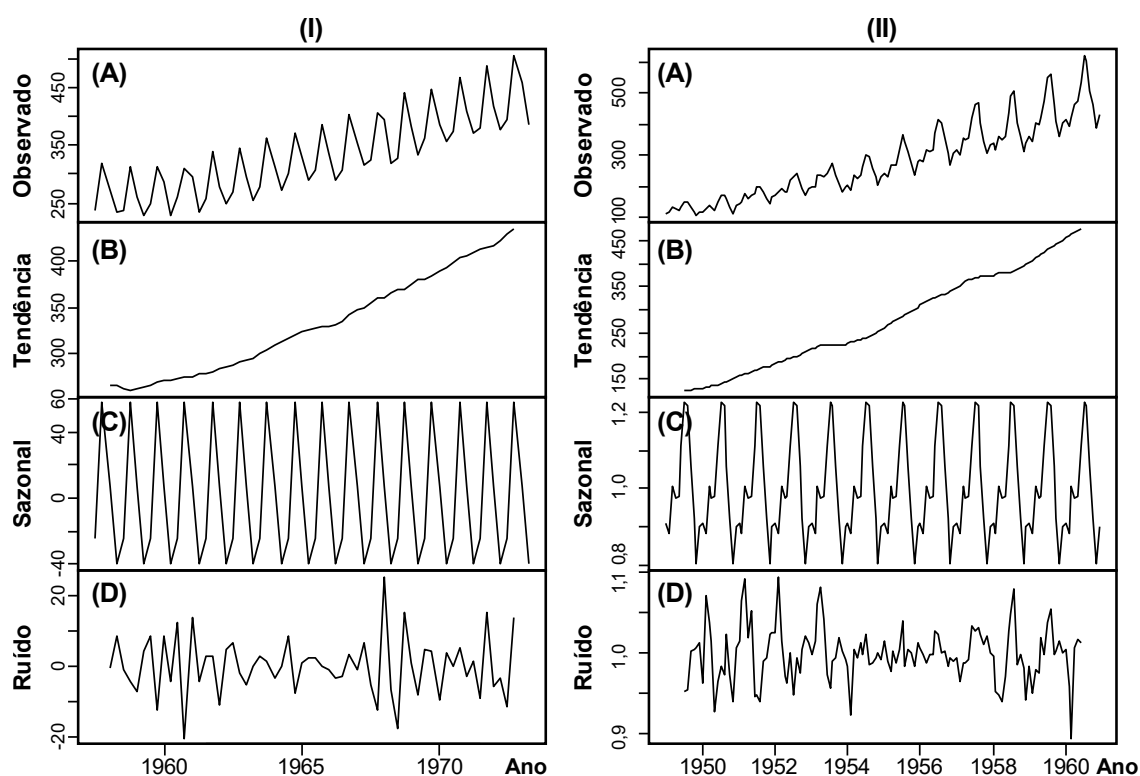
$$Z(t) = T_t \cdot P_t \cdot a_t \quad (3)$$

Exemplificando, a **Figura 130** apresenta no gráfico **(A)** uma série temporal de comportamento aditivo, onde a variação sazonal parece constante, ou seja, não se altera quando o valor da série temporal aumenta; e no gráfico **(B)** exibe uma série temporal de padrão multiplicativo, pois com o decorrer do tempo, a variação sazonal também aumenta em magnitude.



**Figura 130** – Exemplo de séries temporais de modelos aditivo e multiplicativo: **(A)** Modelo aditivo – produção total trimestral de cerveja na Austrália (em megalitros), de 1956 a 2008; **(B)** Modelo multiplicativo – totais mensais de passageiros de companhias aéreas internacionais, de 1949 a 1960. Fonte: elaborado com dados de Hyndman (2015), gráfico (A); e R Documentation (2021), gráfico (B).

Utilizando os modelos aditivo e multiplicativo das equações (2) e (3), respectivamente, é possível decompor as séries temporais da **Figura 130** em suas respectivas componentes (tendência, sazonal e aleatória), cujo resultado é apresentado na **Figura 131**.



**Figura 131** – Decomposição de séries temporais de modelos aditivo e multiplicativo nas componentes: **(B)** Tendência; **(C)** Sazonal; e **(D)** Ruído. **(A)** Dados observados de (I) modelo aditivo – produção total trimestral de cerveja na Austrália (em megalitros), de 1956 a 2008; e (II) modelo multiplicativo – totais mensais de passageiros de companhias aéreas internacionais, de 1949 a 1960; Fonte: elaborado a partir dos dados de Hyndman (2015), gráfico (A); e R Documentation (2021), gráfico (B).

De modo geral, se  $S_t$  independe de  $T_t$ , o modelo é aditivo; se existir uma dependência entre essas duas componentes, o modelo é multiplicativo. A decomposição aditiva é a mais apropriada se a magnitude das flutuações sazonais, ou a variação em torno da tendência, não variar com o nível da série temporal. Quando a variação no padrão sazonal, ou a variação em torno da tendência, parece ser proporcional ao nível da série temporal, então uma decomposição multiplicativa é mais apropriada. Decomposições multiplicativas são comuns em séries econômicas.

#### 4.4.1.3. Obtenção de estacionariedade

Uma série temporal estacionária é aquela que possui propriedades estatísticas (como média, variância, autocorrelação) constantes ao longo do tempo. A maioria dos métodos de previsão estatística se baseia no pressuposto de que as séries temporais podem ser representadas aproximadamente estacionárias através do uso de transformações matemáticas. Uma série

estacionária é relativamente fácil de prever, pois simplesmente prediz-se que suas propriedades estatísticas serão as mesmas no futuro como foram no passado.

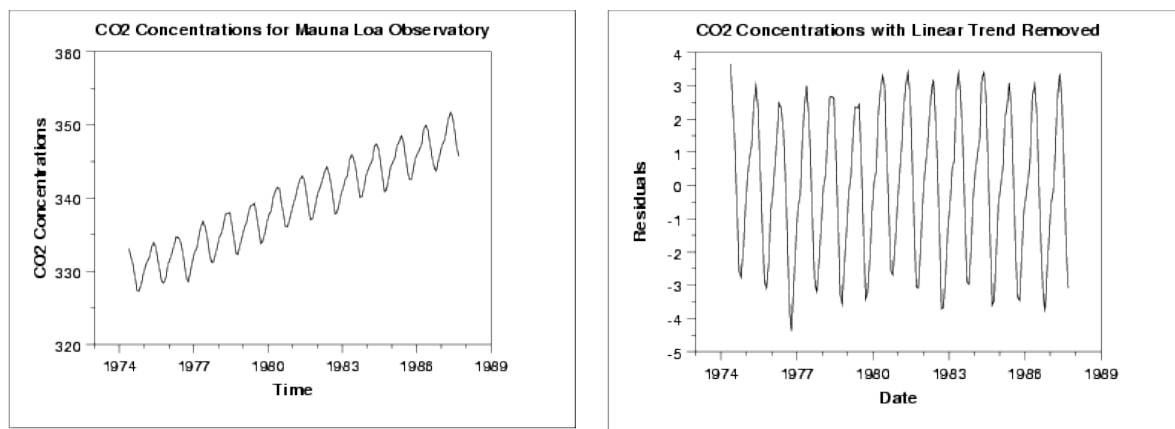
A maioria das séries temporais do mundo real (séries econômicas, ciências naturais etc.) está longe de ser estacionária quando expressa em suas unidades de medida originais, exibindo tendências, ciclos, caminhadas aleatórias e outros comportamentos não estacionários. Existem basicamente quatro métodos de transformação frequentemente utilizados para tornar a série temporal estável (estacionária): (1) eliminação de tendência (*detrend*), ao ajustar uma linha de tendência e subtraindo-a antes de ajustar um modelo; (2) eliminação de sazonalidade (*deseasonalizing*); (3) execução de diferenças sucessivas da série original, sendo suficiente tomar uma ou duas diferenças para que, em situações normais, a série se torne estacionária; e raízes quadradas.

Se uma série possui uma tendência de longo prazo estável e tende a reverter para a linha de tendência após uma perturbação, pode ser possível estacioná-la desenredando (por exemplo, ajustando uma linha de tendência e subtraindo-a antes de ajustar um modelo, ou então, incluindo o índice de tempo como uma variável independente em um modelo de regressão ou ARIMA), talvez em conjunto com o registro ou deflação. Dizem que essa série é uma tendência estacionária. No entanto, algumas vezes, mesmo a redução de tendência não é suficiente para tornar a série estacionária, caso em que pode ser necessário transformá-la em uma série de diferenças de período para período e/ou de estação para estação. Se a média, variância e autocorrelações da série original não forem constantes no tempo, mesmo depois de prejudicar, talvez as estatísticas das mudanças nas séries entre os períodos ou entre as estações sejam constantes. Diz-se que tal série é uma diferença estacionária.

Como a maioria dos procedimentos de análise estatística de séries temporais supõe que estas sejam estacionárias, é necessário transformar os dados originais, caso eles não formem uma série estacionária.

#### 4.4.1.3.1 Remoção de tendência

Como exemplo, considere-se o gráfico **(A)** da **Figura 132**, com dados de concentrações mensais de CO<sub>2</sub>. Uma inspeção visual deste gráfico indica uma tendência crescente, bem como um comportamento periódico. Para remoção da tendência, a aplicação de um simples ajuste linear resulta em resíduos dos dados originais, conforme plotado no gráfico **(B)** da retrocitada figura. Sem tendência linear, o gráfico da série destendenciada indica que os dados dos resíduos possuem localização e variância constantes, embora o padrão dos resíduos mostre que os dados desviam do modelo de maneira periódica/oscilatória.



**Figura 132** – Série de concentrações mensais de CO<sub>2</sub> do Observatório Mauna Loa. **(A)** Série original, com comportamento periódico associado a uma tendência crescente. **(B)** Série destendenciada, ou seja, após a remoção da tendência linear, ressaltando somente a componente periódica. Fonte: GUTHRIE (2020).

#### 4.4.1.4. Suavização e filtros

Determinar os componentes de uma série temporal permite identificar um padrão de comportamento, por sua vez possibilitando fazer previsões. Porém, separar os principais componentes características de uma série não é uma tarefa simples. Geralmente, o ruído é um grande obstáculo que dificulta a análise da estrutura de uma série temporal. Para excluir sua interferência e enxergar melhor a estrutura da série, a ela podem ser aplicados métodos de *suavização* (também denominados como métodos de *alisamento*, ou *filtros*).

Consistindo em uma grande classe de métodos de previsão, a suavização tenta tratar as causas de flutuações em séries temporais ao assumir que os valores extremos da série representam a aleatoriedade. Assim, uma vez removidos os ruídos, a suavização permite identificar o padrão básico da série temporal, revelando mais claramente a tendência e os componentes sazonais e cíclicos. A suavização possui como vantagens: relativa simplicidade de cálculo, eficiência computacional e razoável precisão. Existem vários métodos de suavização, sendo os principais:

- **Médias móveis:** método mais simples de suavizar séries onde, para qualquer número ímpar de pontos de dados na sequência, substitui-se o ponto de dados central pela média aritmética dos outros pontos de dados. Possui algumas desvantagens: não é efetiva no cálculo, pois é preciso recalcular a média de cada ponto dos dados; não é possível estender a média móvel até o primeiro e o último ponto de dados da série; não está definida fora da série e, por isso, não pode ser usada para previsão.
- **Suavização exponencial:** método avançado de suavização que também pode ser usado para previsão. A suavização exponencial calcula os valores da série suavizada, atualizando

os valores produzidos na etapa anterior e usando as informações da etapa atual. As informações das etapas anterior e atual têm pesos diferentes que podem ser gerenciados. Existem várias variedades desse método: suavização exponencial simples para séries sem tendência e sazonalidade; suavização exponencial dupla (ou suavização exponencial de Holt) para séries com tendência e sem sazonalidade; suavização exponencial tripla (ou suavização exponencial de Holt-Winters) para séries com tendência e sazonalidade.

Enquanto que nas médias móveis as observações passadas são ponderadas igualmente, a suavização exponencial atribui pesos exponencialmente decrescentes à medida que a observação fica mais antiga. Em outras palavras, observações recentes recebem um peso relativamente maior na previsão do que as observações mais antigas.

Siqueira e Molion (2012) relatam que uma das técnicas mais utilizadas é a das médias móveis, conhecida também como regularização das séries temporais. Todavia, tal técnica apresenta algumas limitações, como a geração de movimentos cíclicos ou de natureza espúria que não existem nos dados originais. Como alternativa para análise de series temporais de dados climáticos, os autores indicaram como viável a utilização da técnica conhecida como *filtro Hodrick-Prescott*.

#### 4.4.1.5. Modelagem e previsão

No domínio do tempo, os modelos utilizados na descrição de séries temporais são processos estocásticos, ou seja, são controlados por leis probabilísticas. O principal objetivo da modelagem de séries temporais é, uma vez compreendido o mecanismo gerador do comportamento da série, sintetizar a dependência temporal das observações de modo a permitir a *previsão*<sup>167</sup> de futuras observações.

Segundo o número de parâmetros envolvidos, os modelos para séries temporais podem ser classificados em:

- **Modelos paramétricos:** o número de parâmetros é finito. Assume-se um modelo para a componente determinística e aleatória.
- **Modelos não-paramétricos:** envolvem um número infinito de parâmetros. A estrutura do modelo não é pré-determinada, sendo baseada exclusivamente nas observações.

---

<sup>167</sup> A palavra *previsão* (*prae e videre*) sugere que pretende-se saber alguma coisa antes que ela exista. Alguns autores preferem a palavra *predição*, para indicar algo que deverá existir no futuro. Outros utilizam o termo *projeção* ou *prognóstica*. Ressalta-se que a previsão não constitui um fim em si, mas apenas um meio de fornecer informações para uma conseqüente tomada de decisões, visando determinados objetivos (MORETTIN; TOLÓI, 2006).



Qualquer que seja a classificação dos modelos de séries temporais, pode-se considerar um número muito grande de modelos diferentes para descrever o comportamento de uma série particular. A construção dos modelos depende do objetivo da análise e de vários fatores como o comportamento do fenômeno ou o conhecimento antecipado de suas causas. Também é condição crucial a existência de métodos apropriados de cálculos, como a disponibilidade de programas computacionais (*software*).

Sob o enfoque do domínio temporal, os modelos paramétricos utilizados para descrever séries temporais são processos estocásticos, isto é, são controlados por leis probabilísticas. Nessa categoria, os métodos de previsão são simplesmente diferentes procedimentos computacionais que calculam a previsão de mínimos quadrados de um valor futuro a partir de combinações lineares de valores passados.

No domínio temporal, modelos utilizados para dados de séries temporais podem ter muitas formas e representar diferentes processos estocásticos. Além dos modelos baseados nos procedimentos simples de previsão por média móvel e suavização exponencial, abrangidos anteriormente, três classes amplas de importância prática são os modelos autoregressivos (AR), os modelos integrados (I) e os modelos de média móvel (MA<sup>168</sup>). As combinações dessas ideias produzem: modelos autoregressivos de médias móveis (ARMA<sup>168</sup>), que vem da combinação dos modelos AR e MA; modelos autoregressivos integrados de médias móveis (ARIMA<sup>168</sup>); modelos do tipo ARIMA sazonais (SARIMA<sup>168</sup>); e modelos do tipo ARIMA fracionários (ARFIMA<sup>168</sup>).

#### 4.4.2. Domínio do tempo-frequência (Análise Espectral)

As análises de séries temporais, além de serem importantes para a construção de modelos de processos estocásticos, também têm se mostrado bastante relevantes quando o enfoque é o domínio da frequência.

Ao converter a variação de dados ao longo do tempo em padrões de repetição (frequência), a *Análise Espectral* permite encontrar um comportamento que de outra forma não seria percebido. A divisão de uma série temporal em diferentes componentes de frequência, em outras palavras, consiste em transformar uma série no *domínio do tempo* para o *domínio da frequência*.

---

<sup>168</sup> As siglas correspondem aos termos em inglês: MA = moving average; ARMA = autoregressive moving average; ARIMA = autoregressive integrated moving average; SARIMA = seasonal autoregressive integrated moving average; e ARFIMA = autoregressive fractionally integrated moving average.

Visando a exploração de padrões cíclicos de dados, a análise espectral permite decompor uma série temporal complexa em componentes cíclicos de algumas funções sinusoidais subjacentes (seno e cosseno) de comprimentos de onda específicos. Em essência, executar a Análise Espectral em uma série temporal é como colocar a série em um *prisma*<sup>169</sup> para identificar os comprimentos de onda e a importância dos componentes cíclicos subjacentes. Como resultado de uma análise bem-sucedida, é possível descobrir alguns ciclos recorrentes de diferentes comprimentos nas séries temporais de interesse, que a princípio poderiam parecer ocultos, ou com aparência de ruídos aleatórios.

A transformada de Fourier funciona como se fosse um “prisma matemático”, decompondo uma função nas frequências que a compõem, como um prisma decompõe a luz nas cores. Ele transforma uma função  $f$  que depende do tempo (ou do espaço) em uma nova função,  $\hat{f}$ , que depende da frequência. Esta nova função é chamada de *transformada de Fourier* da função original – ou, quando a função original é estritamente periódica, sua *série de Fourier* (HUBBARD, 1996).

Uma função e sua transformada de Fourier são duas faces da mesma informação. A função exibe a informação de tempo (ou espaço) e oculta as informações sobre frequências. A transformada de Fourier exibe informações sobre as frequências, mas as informações sobre o tempo ou o espaço estão ocultas nas fases: o deslocamento dos senos e cossenos para cada frequência, de modo que eles se adicionam ou se subtraem. No entanto, a função e sua transformada contêm todas as informações do sinal. Logo, pode-se calcular a transformada a partir da função e depois fazer o caminho inverso, reconstruindo a função a partir da transformada (HUBBARD, 1996).

#### 4.4.2.1. Análise de Fourier

Considerada a modalidade clássica da *Análise Espectral*, a *Análise de Fourier* estuda, basicamente, a aproximação de qualquer função por uma soma de senos e cossenos. Basicamente, para uma primeira divisão, qualquer sinal físico pode ser decomposto em um número de frequências discretas (*Análise Harmônica*), ou um espectro de frequências em um intervalo contínuo (*Transformada de Fourier*).

A Análise de Fourier pode ser subdividida em três tipos:

---

<sup>169</sup> O termo “espectro” da *Análise Espectral* fornece uma metáfora apropriada para a natureza dessa análise: por exemplo, ao estudar um feixe de luz solar branca, à primeira vista ele assemelha-se a um acúmulo aleatório (ruído branco) de luz de diferentes comprimentos de onda. No entanto, quando o feixe é direcionado e atravessa um prisma, pode-se separar os diferentes comprimentos de onda ou componentes que compõem a luz branca do Sol. De fato, através dessa técnica, pode-se agora identificar e distinguir entre diferentes componentes de luz. Assim, identificando os componentes cíclicos subjacentes importantes, aprende-se algo sobre o fenômeno de interesse.

- *Série de Fourier (Análise Harmônica)*: a entrada é uma função periódica com valores reais ( $\mathbb{R}$ ), e a saída é uma série cuja somatória é baseada em frequências  $n \in \mathbb{Z}$ ; em outras palavras, transforma uma entrada periódica contínua em um espectro discreto;
- *Transformada de Fourier de tempo discreto*<sup>170</sup> (normalmente conhecida pela sua sigla *DTFT*, do Inglês *Discrete-Time Fourier Transform*): a entrada é um vetor de comprimento  $N$  com entradas complexas e a saída é outro vetor em  $\mathbb{C}$ . Ou seja, a DTFT é aplicável a uma sequência de valores onde a variável independente de entrada é discreta (descontínua). O termo *tempo discreto* refere-se ao fato de que a transformação opera em dados discretos, geralmente amostras cujo intervalo tem unidades de tempo. A partir de amostras uniformemente espaçadas, produz uma função de frequência que é uma soma periódica da transformada contínua de Fourier da função original contínua. Sob certas condições teóricas, descritas pelo teorema da amostragem, a função contínua original pode ser recuperada perfeitamente por meio da DTFT e, portanto, das amostras originais. As amostras discretas de um função contínua podem ser prontamente calculadas via *transformada discreta de Fourier (DFT, sigla do Inglês para Discrete Fourier Transform)*, que é o método mais comum da análise moderna de Fourier. A *transformada rápida de Fourier (FFT, sigla do Inglês para Fast Fourier Transform)* é um algoritmo para calcular um ciclo da DFT; e
- *Transformada de Fourier*: onde a entrada é uma função em  $\mathbb{R}$  e a saída é outra função em  $\mathbb{R}$ .

#### 4.4.2.1.1 Série de Fourier (Análise harmônica)

O princípio matemático fundamental da Análise de Fourier é que qualquer função, que é dada em cada ponto em um intervalo, pode ser representada por uma série infinita de funções seno e cosseno. Esta série é chamada de *Série de Fourier* e o método de calcular a amplitude das funções seno e cosseno é chamado de *Transformada de Fourier* (BURROUGHS, 2003).

---

<sup>170</sup> Possui também, como sinônimos, os termos: *Transformada finita de Fourier e análise de Fourier discreta*. A DTFT não deve ser confundida com a *transformada discreta de Fourier (DFT)*, caso especial aplicado quando a função original é periódica.

#### 4.4.2.1.1.1 Formato exponencial

No tratamento moderno, as Séries de Fourier são expressadas como somas infinitas de exponenciais complexas, cuja definição (fórmula de Euler) é a seguinte. Seja  $x$  um número real; chama-se *exponencial complexa* de  $x$  o número complexo:

$$e^{ix} = \cos x + i \operatorname{sen} x \quad (4)$$

Nota-se que as exponenciais complexas são funções periódicas de período igual a  $2\pi$ . A fim de utilizá-las para modelar funções com outros períodos, por exemplo, igual a  $P$ , basta notar que  $e^{i2\pi nt/P}$  são funções periódicas de período  $P$  para todo  $n \in \mathbb{Z}$ . Assim, se uma função  $Z(t)$  tem período  $P$ , pode-se definir a *Série de Fourier*, na forma complexa (exponencial) como:

$$Z(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} c_n e^{i2\pi nt/P} \quad (5)^{171}$$

Onde os coeficientes de Fourier ( $c_n$ ) são definidos por:

$$c_n = \frac{1}{P} \int_0^P Z(t) e^{-i2\pi nt/P} dt \quad (6)^{172}$$

#### 4.4.2.1.1.2 Modelo senoidal simples<sup>173</sup>

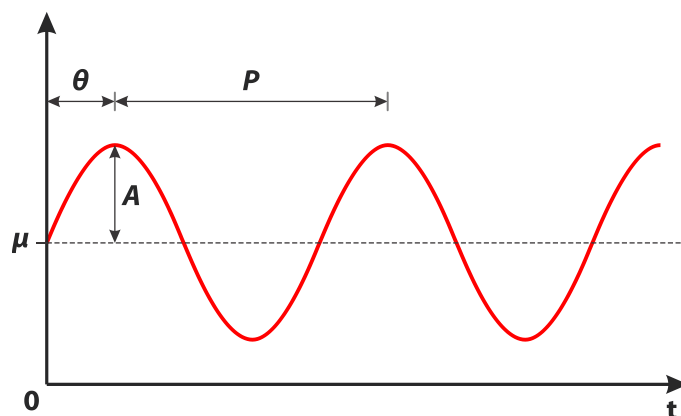
Partindo de um modelo senoidal simples, considere-se a Figura, na qual os valores da série se repetem, isto é, consiste em uma série periódica cujas variações oscilam em torno de um valor médio ( $\mu$ ). Tal série pode ser descrita por quatro elementos básicos:

<sup>171</sup> Aproveitando o ensejo da aparição da primeira somatória – e para fins de registro de uma curiosidade sobre a história das notações matemáticas – convém dizer que o somatório é denotado usando o símbolo  $\Sigma$ , referente à letra grega maiúscula *sigma*, que é a décima oitava letra do alfabeto grego, e que tem como correspondente o  $S$  no alfabeto ocidental. O primeiro matemático a utilizar o símbolo  $\Sigma$  para somatórios foi Euler, em 1755 (CAJORI, 1993).

<sup>172</sup> Com o mesmo intuito da nota de rodapé anterior – registrar uma pequena curiosidade sobre a história das notações matemáticas – aproveita-se aqui a exibição da primeira integral definida, para contar um pouco sobre sua origem. A notação hoje utilizada para a integral indefinida foi introduzida por Gottfried Wilhelm Leibniz em 1675. Ele adaptou o símbolo da integral a partir da letra  $\int$  (“s longo”), que significa *summa* (escrito como *fimma*, do latim “soma” ou “total”). A notação moderna para a integral definida, com limites acima e abaixo do símbolo da integral [por exemplo:  $\int_a^b$ ] foi usada pela primeira vez por Fourier em *Mémoires* da Academia Francesa por volta de 1819-20, em um artigo do qual a parte inicial de seu livro de 1822 é uma reimpressão. Tal aparente simples aprimoramento constituiu um importante enriquecimento da notação para a operação de integração. Admitindo a perspicácia e o poder de síntese e economia mental que representava, tal notação matemática foi rapidamente reconhecida com uma mudança bastante conveniente (CAJORI, 1993).

<sup>173</sup> Com base em Pereira, Pais e Sales (1986).

- **Período ( $P$ ):** representa o tempo necessário para a série temporal se repetir; é medido por unidade de tempo por ciclo;
- **Frequência ( $n = 1/P$ ):** é o recíproco do período e fornece o número de repetições do ciclo por unidade de tempo. Por exemplo, com 12 meses por ciclo ( $P = 12$ ), a frequência é de  $1/12$  ciclos por mês;
- **Amplitude ( $A$ ):** é a distância da média da série à crista (pico) ou ao vale; e
- **Fase ( $\theta$ ):** é a distância entre a origem da série ( $t = 0$ ) e a crista (ou vale) mais próximo.



**Figura 133** – Representação de uma senoide (linha vermelha) e seus elementos: Período ( $P$ ); Amplitude ( $A$ ) e Fase ( $\theta$ ), com valores oscilando em torno de uma média ( $\mu$ ). Fonte: adaptado de Pereira, Pais e Sales (1986).

A série temporal estacionária  $Z(t)$  pode ser expressa na seguinte forma, conhecida como *representação harmônica*:

$$Z(t) = \mu + A \cos 2\pi n(t - \theta), \quad t = 1, 2, \dots, T \quad (7)$$

Simplificando as deduções<sup>174</sup>, basicamente fundamentada no uso da identidade trigonométrica  $\cos(x - y) = \cos x \cos y + \sin x \sin y$ , tem-se que a equação (7) pode ser reescrita como:

---

<sup>174</sup> A dedução completa, com a sequência de todos os passos intermediários, podem ser conferidas em Pereira, Pais e Sales (1986).

$$Z(t) = \mu + \alpha \cos wt + \beta \operatorname{sen} wt \quad (8)$$

Onde:  $\alpha = A \cos \phi$ ;  $\beta = A \operatorname{sen} \phi$ ;  $w = 2\pi n$ ;  $\phi = 2\pi n\theta$ , sendo  $w$  a frequência angular, e  $\phi$  a fase.

O modelo anterior é bastante simples, mas, na prática, as mudanças em uma série temporal podem ser causadas por diferentes frequências. Por exemplo, séries de vendas podem conter variações cíclicas semanais, mensais, anuais e outras. Em outras palavras, os dados podem conter variações em altas, médias e baixas frequências. Portanto, uma generalização natural é dada por:

$$Z(t) = \mu + \sum_{n=1}^{\infty} [\alpha_n \cdot \cos w_n t + \beta_n \cdot \operatorname{sen} w_n t] \quad (9)$$

Assim, nessa primeira abordagem, pôde-se mostrar que, teoricamente, qualquer série temporal estacionária pode ser aproximada por uma soma de infinitas funções periódicas (senos e cossenos), mais uma média.

Na equação (9), o termo  $n = 1$  possui frequência fundamental igual a  $w_1$ , sendo esta denominada de *frequência fundamental*, *componente fundamental*, ou *componente de primeira harmônica*. O termo  $w_2$  (com  $n = 2$ ) é periódico com a metade do período (ou, de modo equivalente, o dobro da frequência) da componente fundamental, denominando-se *frequência de segunda harmônica*. Assim por diante, uma *frequência fundamental* ( $w_1$ ) possui correspondentes *frequências harmônicas* ( $w_2, w_3, w_4, \dots, w_n$ ) múltiplas de  $n$ . Geralmente, os componentes para  $n = N$  são denominados componentes de *n-ésima harmônica*, ou seja, *primeira harmônica*, *segunda harmônica*, *terceira harmônica* e assim sucessivamente.

#### 4.4.2.1.1.3 Formato trigonométrico geral<sup>175</sup>

A forma complexa da Série de Fourier dada pela eq. (5) também é possível de ser escrita como uma função periódica  $Z(t)$  na forma trigonométrica, que é mais comum por remeter à noção das frequências associadas às funções oscilatórias seno e cosseno. Para fins de comparação com a equação (9), considera-se que  $w_n = 2\pi n / P$ . Assim:

---

<sup>175</sup> Com base em Pereira, Pais e Sales (1986).

$$Z(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} \left[ a_n \cdot \cos\left(\frac{2\pi nt}{P}\right) + b_n \cdot \text{sen}\left(\frac{2\pi nt}{P}\right) \right] \quad (10)$$

É denominada de *Análise de Fourier* ou *Análise Harmônica* a decomposição da série  $Z(t)$  em componentes periódicas fornecidas na expressão (9). Os *coeficientes da Série de Fourier* ( $a_0$ ,  $a_n$  e  $b_n$ ) são números que variam de acordo com a função estudada. Representando as amplitudes de cada onda na série, eles são calculados por meio das seguintes fórmulas:

$$a_0 = \frac{1}{P} \int_0^P Z(t) dt \quad (11)$$

$$a_n = \frac{2}{P} \int_0^P Z(t) \cos(2\pi nt / P) dt \quad (12)$$

$$b_n = \frac{2}{P} \int_0^P Z(t) \text{sen}(2\pi nt / P) dt \quad (13)$$

Para melhor exemplificação, simplifica-se a Série de Fourier ao considerar um caso de período igual a 1 ( $P = 1$ ). Também, para estabelecer um conjunto harmonicamente relacionado, considera-se um conjunto de funções periódicas com frequências fundamentais múltiplas ( $1n$ ,  $2n$ ,  $3n$ , ...) da frequência única dada pelo índice  $n$ . A equação (10) pode ser expressada matematicamente de forma expandida:

$$Z(t) = \frac{a_0}{2} + \left( a_1 \cdot \cos 2\pi t + b_1 \cdot \text{sen } 2\pi t \right) + \left( a_2 \cdot \cos 2\pi 2t + b_2 \cdot \text{sen } 2\pi 2t \right) + \left( a_3 \cdot \cos 2\pi 3t + b_3 \cdot \text{sen } 2\pi 3t \right) + \dots \quad (14)$$

Os coeficientes de Fourier  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$ , ... representam o quanto a função  $Z$  “contém” das funções  $\cos 2\pi t$ ,  $\cos 2\pi 2t$ ,  $\cos 2\pi 3t$ , ... (ou seja, cossenos de frequências angulares de 1 hertz, 2 Hz, 3 Hz, ...); e os coeficientes  $b_1$ ,  $b_2$ ,  $b_3$ , ... representam o quanto a função  $Z$  “contém” das funções  $\text{sen } 2\pi t$ ,  $\text{sen } 2\pi 2t$ ,  $\text{sen } 2\pi 3t$ , ... (ou seja, senos de frequências 1 Hz, 2 Hz, 3 Hz, ...). Tal conceito ficará melhor compreendido no item seguinte.

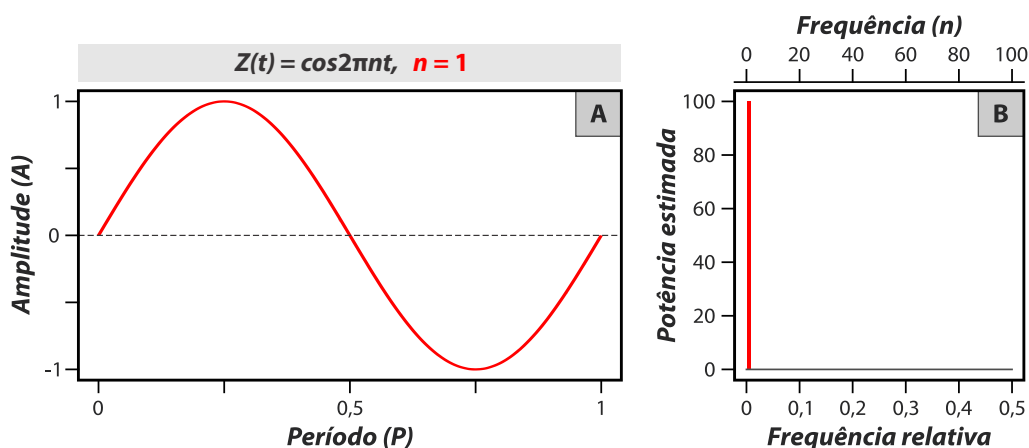
#### 4.4.2.1.1.4 Espectro de Potência, Espectrograma e Periodograma

Com base nas propriedades de ortogonalidade das funções seno e cosseno, bem como utilizando-se de cálculos com equações normais de mínimos quadrados, a partir dos coeficientes de Fourier, é matematicamente demonstrado<sup>176</sup> que a variância total da série pode ser decomposta em uma combinação linear dos quadrados das amplitudes de cada componente periódica. Desse modo, a Análise de Fourier fornece uma análise de variância da série temporal amostral. Como decorrência prática de tais deduções, com base nos coeficientes de Fourier da equação (10), obtêm-se os *estimadores da potência* nas frequências angulares correspondentes. Assim, o processo de análise determina os pesos, indexados pelo inteiro  $n$ , que representa o número de ciclos do harmônico no intervalo analisado. Para facilitar a compreensão desses conceitos, prossegue-se a uma análise visual da variância de algumas séries:

- **Exemplo 1:** Simplificando a equação (7), estabelecendo média zero ( $\mu = 0$ ), amplitude e período unitários ( $A = 1$ ,  $P = 1$ ), considera-se a frequência fundamental ( $w_1$ ) – ou, equivalentemente, o primeiro harmônico ( $n = 1$ ) – da série, obtendo-se:

$$\begin{aligned} Z(t) &= \cos 2\pi n t, \quad n = 1 \\ Z(t) &= \cos 2\pi t \end{aligned} \quad (15)$$

Por sua vez, a equação (15) pode ser plotada conforme o gráfico (A) da **Figura 134**, que é a representação da função no domínio do tempo.



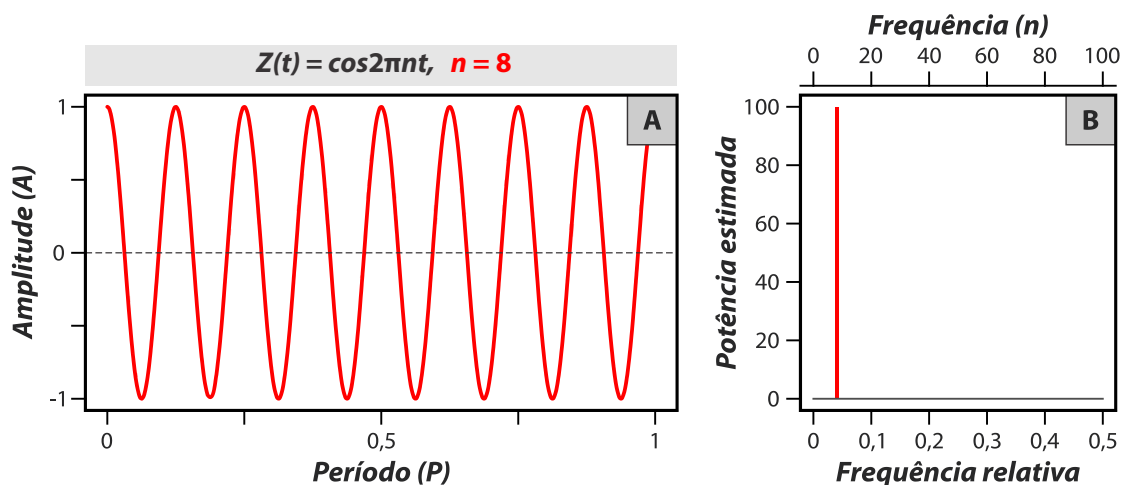
**Figura 134** – Função cossenoidal (Exemplo 1) e respectiva Análise Espectral clássica (Análise de Fourier). (A) Representação gráfica da equação cossenoidal, no domínio do tempo; (B) Representação gráfica do espectro de potência, no domínio da frequência. Fonte: elaboração própria, utilizando o programa *R Studio*.

<sup>176</sup> As demonstrações podem ser consultadas em Pereira, Pais e Sales (1986).



Retomando o conceito de estimadores de potência, o gráfico **(B)** da **Figura 134** é um primeiro exemplo de representação no domínio do tempo-frequência, onde a linha vertical representa a frequência angular ( $n = 1$ ) da função cosseno do gráfico **(A)**. No eixo das abscissas ( $x$ ), parte inferior, a escala denota a frequência relativa, com intervalo entre 0 e 0,5 – valores habitualmente retornados após uma Análise de Fourier. Na parte superior do gráfico **(B)**, consta uma respectiva escala complementar ao eixo  $x$  inferior, mostrando a correspondente frequência ( $n = 1$ , dentro de uma escala que considera até o centésimo harmônico) da curva da equação (15), que gerou o gráfico **(A)**. Já na escala da ordenadas  $[Z(t)]$  do gráfico **(B)** – normalmente apresentando valores arbitrários/adimensionais (mas, nesse caso, redimensionada para escala percentual) – consta a potência (força, energia ou intensidade) relativa à amplitude da função. Por esse motivo, o gráfico é conhecido por *espectro de potência* (*power spectrum*, do equivalente em Inglês), também conhecido como *espectrograma* (*spectrogram*, em Inglês). Caso a escala no eixo  $x$  seja convertida para período (usando a relação de que o período é o inverso da frequência,  $P = 1/n$ ), tal gráfico pode ser chamado também de *periodograma*. No caso do cosseno em questão, sendo ela função matemática (trigonométrica), a série temporal gerada a partir dela é determinística. Assim, sendo a frequência exata e única, sua representação é dada por uma somente uma linha vertical de valor correspondente ao harmônico, o que faz do gráfico **(B)** também ser conhecido como *espectro de linha* (ou *espectro discreto*, menos usual).

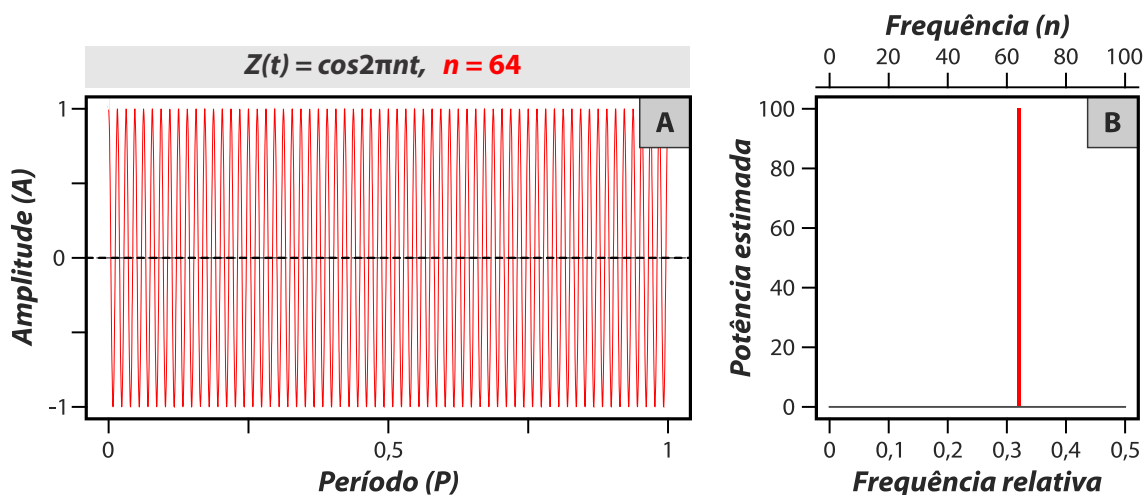
- **Exemplo 2:** Utilizando a equação (15), considera-se o oitavo harmônico ( $n = 8$ ), da série, obtendo-se  $Z(t) = \cos 2\pi 8t$ , cujas representações no domínio do tempo e da frequência, estão respectivamente apresentadas nos gráficos **(A)** e **(B)** da **Figura 135**.



**Figura 135** – Função cossenoidal (Exemplo 2) e respectiva Análise Espectral clássica (Análise de Fourier). **(A)** Representação gráfica da equação cossenoidal, no domínio do tempo; **(B)** Representação gráfica do espectro de potência, no domínio da frequência. Fonte: elaboração própria, utilizando o programa *R Studio*.

Ao aumentar frequência angular ( $n$ ) de 1 para 8, observa-se: no gráfico **(A)**, que este possui 8 ciclos da onda cossenoidal; e, no gráfico **(B)**, nota-se que a linha vertical ligeiramente deslocou-se para direita, uma vez que o incremento de  $n$  fez a linha se posicionar nos valores correlatos dos eixos horizontais.

- **Exemplo 3:** Ainda com base na equação (15), considera-se o 64º harmônico ( $n = 64$ ), da série, obtendo-se  $Z(t) = \cos 2\pi 64t$ , representada na forma temporal e do espectro de linhas, respectivamente conforme os gráficos **(A)** e **(B)** da **Figura 136**.

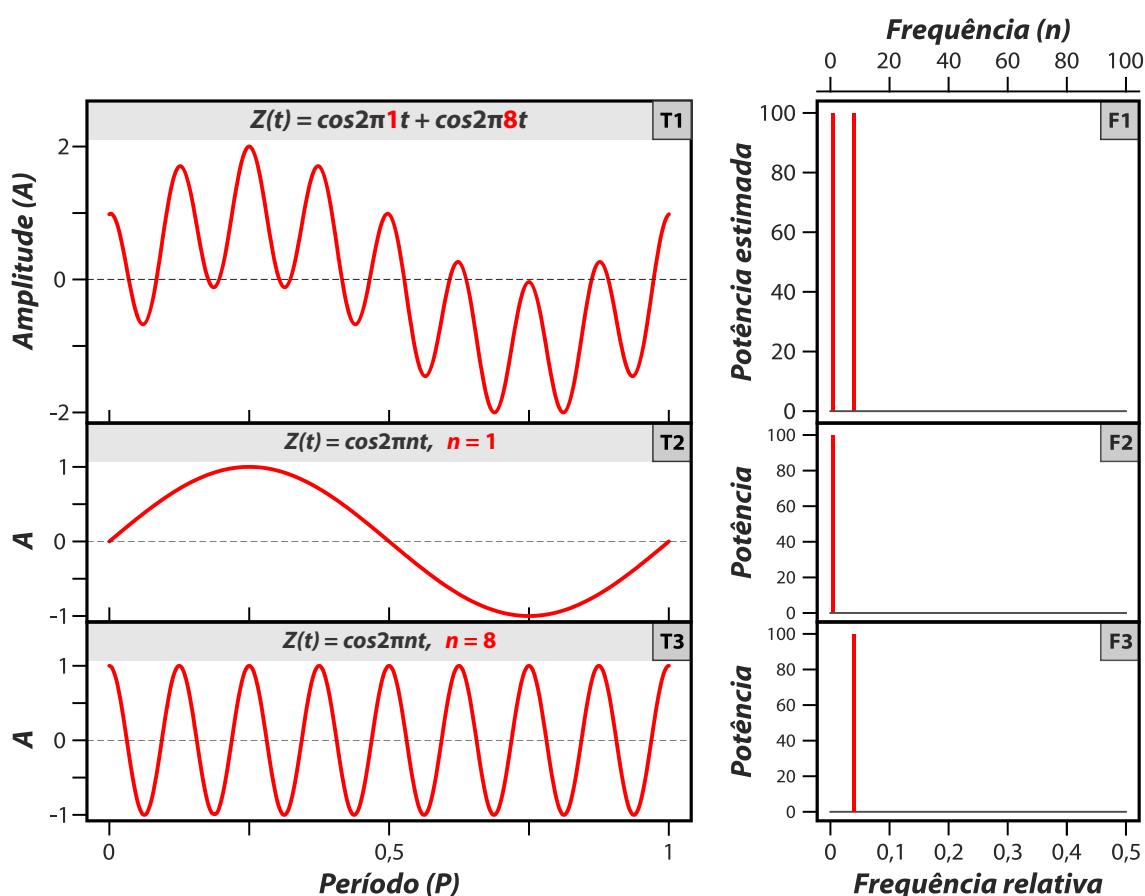


**Figura 136** – Função cossenoidal (Exemplo 3) e respectiva Análise Espectral clássica (Análise de Fourier). **(A)** Representação gráfica da equação cossenoidal, no domínio do tempo; **(B)** Representação gráfica do espectro de potência, no domínio da frequência. Fonte: elaboração própria, utilizando o programa *R Studio*.

O efeito do deslocamento a linha no espectrograma fica nítido no gráfico **(B)** da **Figura 136**. Portanto, depreende-se o seguinte: quanto menores (maiores) as frequências, mais à esquerda (direita) a linha da potência respectiva ao harmônico se localiza no espectrograma<sup>177</sup>.

<sup>177</sup> Dita tal inferência óbvia, parte-se para uma consequência nem sempre tão nítida. Quando analisa-se um espectrograma e, a partir dele, pretende-se obter conceber os valores correspondentes de períodos, deve-se atentar que, no caso dos períodos, ocorre o inverso, ou seja, os maiores (menores) valores estão na parte esquerda (direita) do gráfico do espectrograma. Nas aplicações práticas das ciências naturais, nem sempre se sabe ou se tem interesse na frequência dos eventos e, além disso, os valores de frequência, variando entre 0 e 0,5 no espectrograma, nem sempre fornece elementos para compreensão dos fenômenos naturais sendo analisados. No caso de ciclos climáticos, existem ciclos cujos períodos estão na ordem das dezenas, centenas até milhares de anos. Por exemplo, um hipotético ciclo de 16 anos teria sua frequência relativa indicada no valor de 0,0625; ciclos de 64 e 1024 anos, corresponderiam, respectivamente, aos valores de 0,016 e 0,00098 de frequência relativa. Em outras palavras, os ciclos de interesse se localizam bastante próximos do valor 0, o que, uma vez plotados, ficariam quase indistinguíveis uns dos outros. Portanto, uma forma de se enxergar os

- Exemplo 4:** Aumentando um pouco o nível de complexidade – deslocando-se do “mundo ideal” das precisas abstrações matemáticas, com suas fórmulas exatas e curvas perfeitas, rumando em direção às séries temporais obtidas no “mundo real”, com diversificadas feições complexas, tipicamente misturadas, com ciclos nem sempre periódicos, repletos de ruídos e sinais aparentemente desordenados – é possível ilustrar o comportamento da Análise de Fourier com base no conceito da equação (14). Considere-se a combinação de dois termos de cossenos, dados pela seguinte equação  $Z(t) = \cos 2\pi 1t + \cos 2\pi 8t$ , cuja representação está exibida no gráfico (T1) da **Figura 137**:

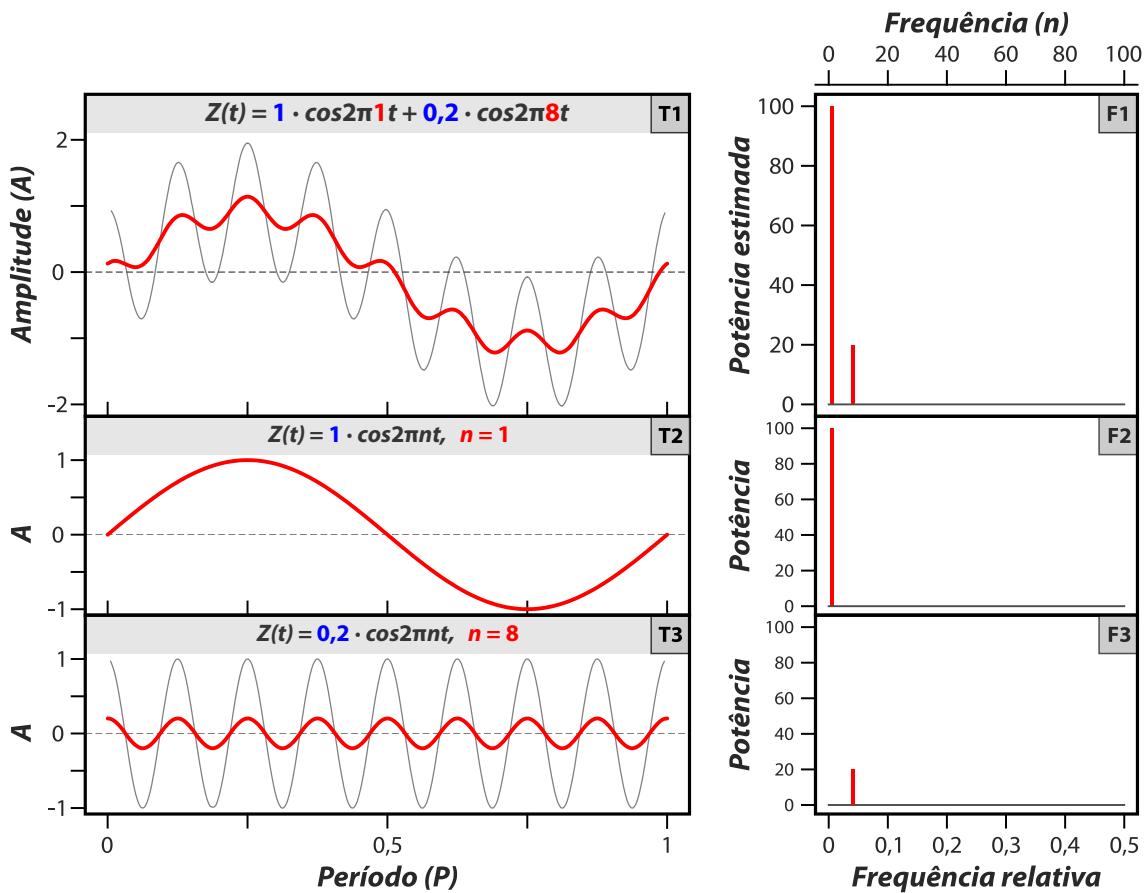


**Figura 137** – Função cossenoidal (Exemplo 4) e respectiva Análise Espectral clássica (Análise de Fourier). **(A)** Representação gráfica da equação cossenoidal, no domínio do tempo; **(B)** Representação gráfica do espectro de potência, no domínio da frequência. Fonte: elaboração própria, utilizando o programa *R Studio*.

ciclos naturais subjacentes a fenômenos com períodos longos, inclusive com sobreposições múltiplas, é preferível adotar o formato do periodograma e, também, utilizar escala logarítmica para enfatizar valores bastante próximos de zero. Em exemplos de séries obtidas com base em observações da natureza, tais situações serão apropriadamente explicadas e consolidadas adiante.

A partir da análise da **Figura 137**, infere-se que a combinação de funções periódicas (gráfico **T1**) implica um espectrograma (gráfico **F1**) que consiste na agregação dos dois espectrogramas (gráficos **F2** e **F3**) relativos às funções periódicas tomadas isoladamente.

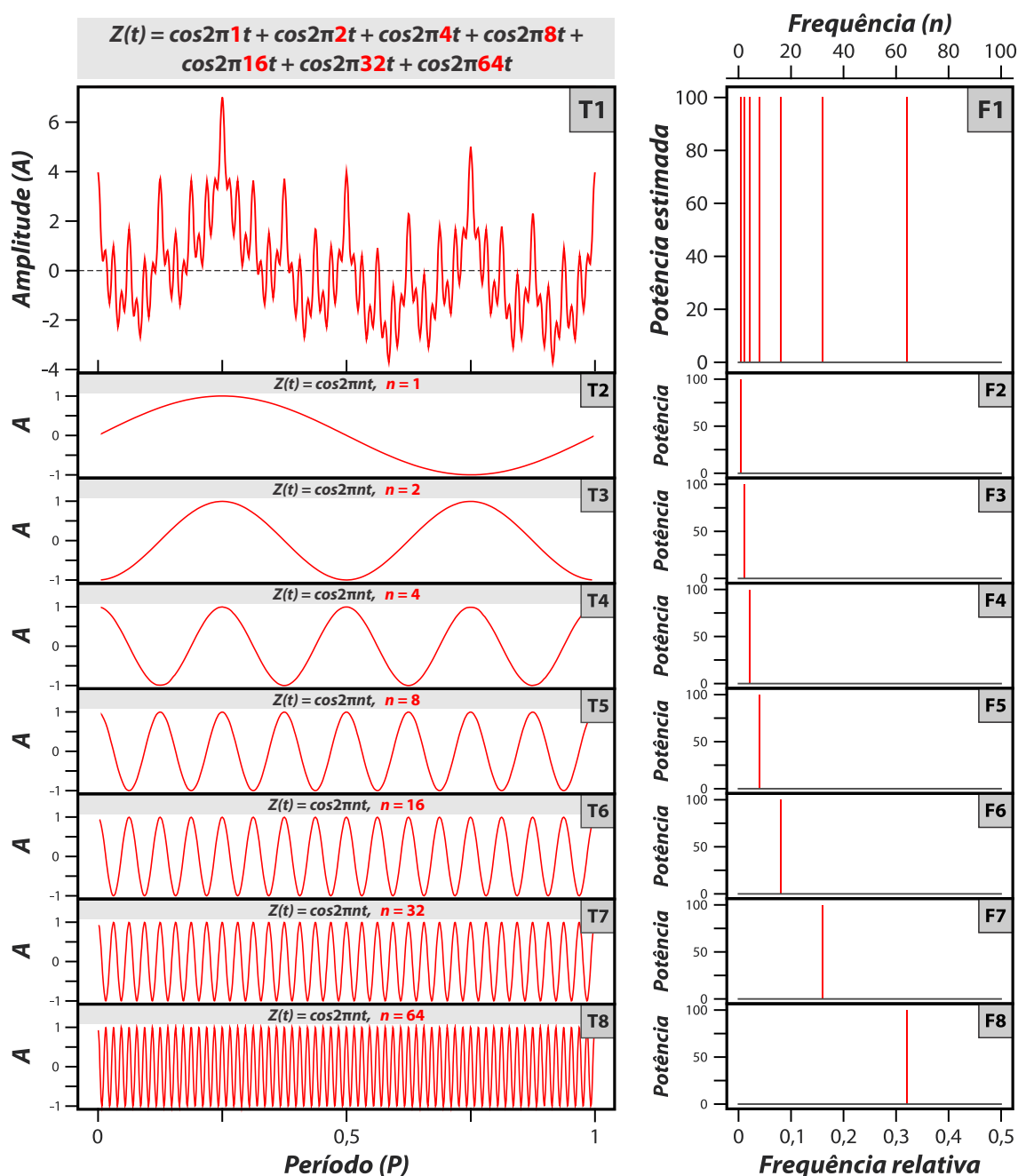
- **Exemplo 5:** A partir do exemplo anterior, com a combinação de dois termos de cossenos, atribui-se valores de coeficientes de Fourier ( $a_1 = 1$  e  $a_2 = 0,2$ ) na equação (14), obtendo-se a série  $Z(t) = 1 \cdot \cos 2\pi 1t + 0,2 \cdot \cos 2\pi 8t$ , plotada no gráfico (**T1**) da **Figura 138**:



**Figura 138** – Função cossenoidal (Exemplo 5) e respectiva Análise Espectral clássica (Análise de Fourier). **(A)** Representação gráfica da equação cossenoidal, no domínio do tempo; **(B)** Representação gráfica do espectro de potência, no domínio da frequência. Fonte: elaboração própria, utilizando o programa *R Studio*.

Analisando o gráfico **T3** da **Figura 138**, percebe-se que a amplitude da série teve uma redução para 20% da original (curva cinza), decorrente da atribuição do valor 0,2 ao respectivo coeficiente de Fourier ( $a_2$ ). Consequentemente, a curva da série combinada (gráfico **T1**), teve uma redução do “peso” da série em **T3**, repercutindo, também, no respectivo espectrograma (gráfico **F1**), na qual a potência da curva **T3** teve o valor reduzido para 20%.

- Exemplo 6:** Para se aproximar da aparência de séries com dados reais, é possível obter uma série artificial cuja combinação provém de diversos harmônicos cossenoidais. Assim, com referência à equação (14), considera-se a série dada pela soma de cossenos com 7 harmônicos em escala geométrica ( $n = 1, 2, 4, 8, 16, 32$  e  $64$ ):  $Z(t) = \cos 2\pi 1t + \cos 2\pi 2t + \cos 2\pi 4t + \cos 2\pi 8t + \cos 2\pi 16t + \cos 2\pi 32t + \cos 2\pi 64t$ , cuja representação segue no gráfico **T1** da **Figura 139**:

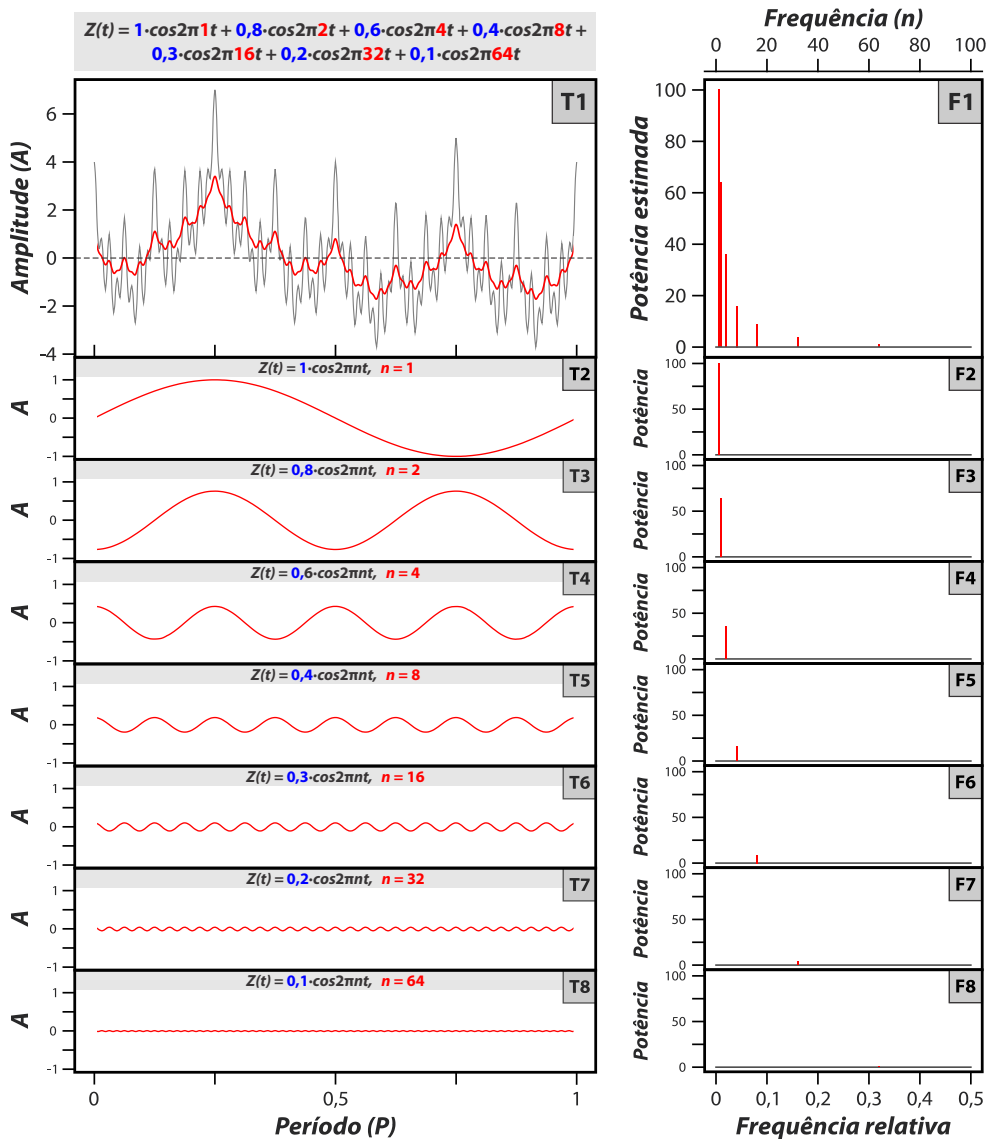


**Figura 139** – Função cossenoidal (Exemplo 6) e respectiva Análise Espectral clássica (Análise de Fourier). **(A)** Representação gráfica da equação cossenoidal, no domínio do tempo; **(B)** Representação gráfica do espectro de potência, no domínio da frequência. Fonte: elaboração própria, utilizando o programa *R Studio*.

Constata-se que o gráfico (**T1**) da **Figura 139** apresenta uma aparência bastante emaranhada, desordenada, com poucos indícios nítidos de componentes periódicas subjacentes.

Todavia, tal curva, gerada pelas aglutinação das 7 curvas harmônicas inferiores, apresenta um espectrograma que revela explicitamente todas as frequências, originárias e correspondentes às demais séries individuais. O grande poder da Análise de Fourier consiste justamente nesse tipo de situação, ela permite decompor uma série de perfil complexo, aparentemente sem periodicidades notáveis, em um formato visual (espectrograma) que revela características cíclicas antes ocultas.

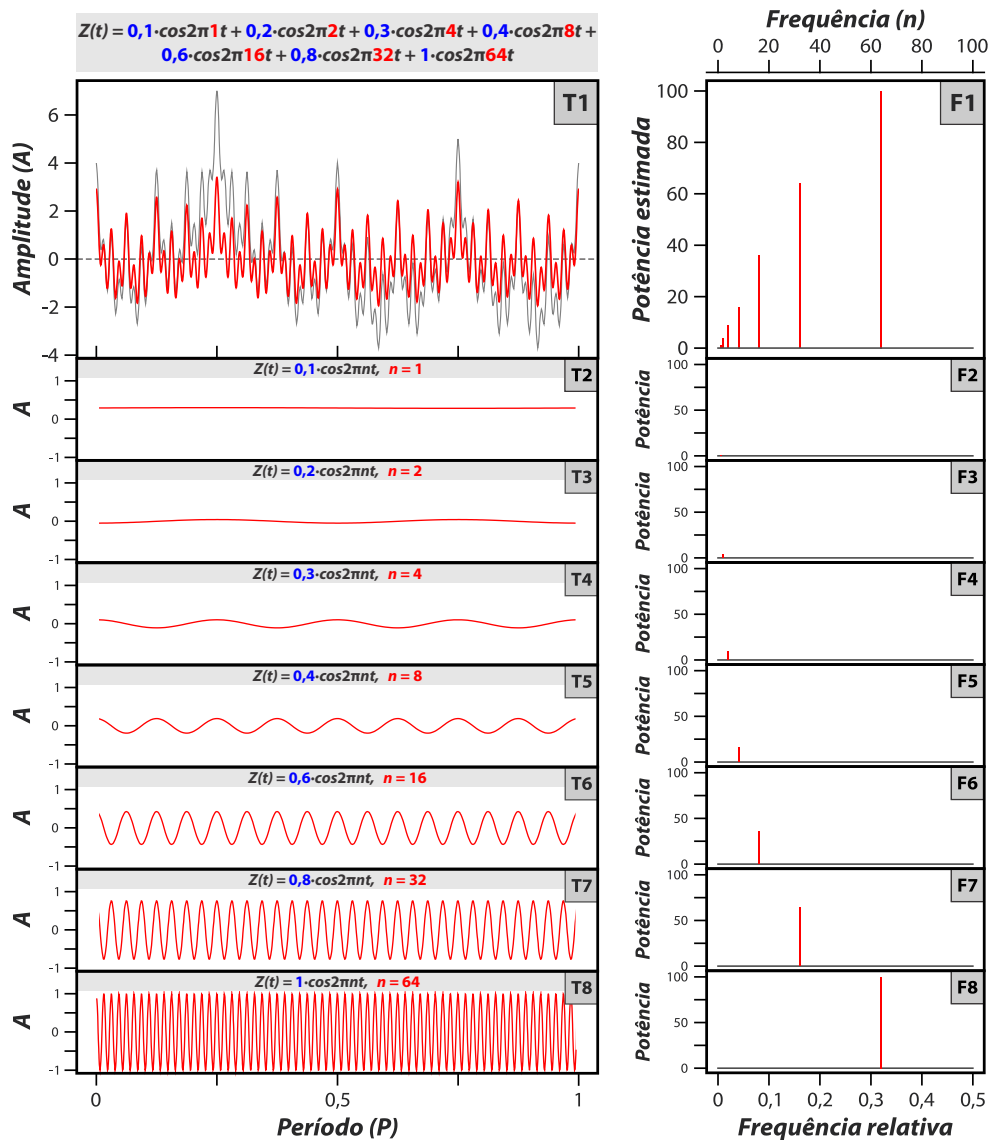
- **Exemplo 7:** Com base nos dois exemplos anteriores (Exemplos 6 e 7), considera-se a série dada com 7 harmônicos em escala geométrica ( $n = 1, 2, 4, 8, 16, 32$  e  $64$ ), atribuindo-se com pesos decrescentes aos valores de coeficientes de Fourier ( $a_1 = 1; a_2 = 0,8; a_3 = 0,6; a_4 = 0,4; a_5 = 0,3; a_6 = 0,2; e a_7 = 0,1$ ), resultando na série  $Z(t) = 1 \cdot \cos 2\pi 1t + 0,8 \cdot \cos 2\pi 2t + 0,6 \cdot \cos 2\pi 4t + 0,4 \cdot \cos 2\pi 8t + 0,3 \cdot \cos 2\pi 16t + 0,2 \cdot \cos 2\pi 32t + 0,1 \cdot \cos 2\pi 64t$ , cuja representação segue no gráfico **T1** da **Figura 140**:



**Figura 140** – Função cossenoidal (Exemplo 7) e respectiva Análise Espectral clássica (Análise de Fourier). **(A)** Representação gráfica da equação cossenoidal, no domínio do tempo; **(B)** Representação gráfica do espectro de potência, no domínio da frequência. Fonte: elaboração própria, utilizando o programa *R Studio*.

No gráfico **T1** da **Figura 140**, relativo à série  $Z(t)$  composta, nota-se que a curva vermelha possui menos “ruídos” (componentes de alta frequência) em comparação com a curva cinza da curva do Exemplo 6, mantida para fins de comparação. De fato, a curva do exemplo em questão, resultante de uma ponderação decrescente dos valores que foram atribuídos aos coeficientes de Fourier, apresenta um aspecto com predominância dos harmônicos de baixa frequência. Assim, a curva fica mais suavizada, ou com menos “ruídos”. O espectrograma correspondente (gráfico F1), evidencia a relação proporcional entre os pesos dos harmônicos, que, nesse gráfico, se traduz como a “força” ou “potência” de cada frequência.

- **Exemplo 8:** Baseado no exemplo anterior (Exemplo 7), utiliza-se a mesma série com 7 harmônicos em escala geométrica ( $n = 1, 2, 4, 8, 16, 32$  e  $64$ ), mas agora invertendo a ordem dos pesos associados aos coeficientes de Fourier, ficando os valores em ordem crescente ( $a_1 = 0,1$ ;  $a_2 = 0,2$ ;  $a_3 = 0,3$ ;  $a_4 = 0,4$ ;  $a_5 = 0,6$ ;  $a_6 = 0,8$ ; e  $a_7 = 1$ ) na série:  $Z(t) = 0,1 \cdot \cos 2\pi 1t + 0,2 \cdot \cos 2\pi 2t + 0,3 \cdot \cos 2\pi 4t + 0,4 \cdot \cos 2\pi 8t + 0,6 \cdot \cos 2\pi 16t + 0,8 \cdot \cos 2\pi 32t + 1 \cdot \cos 2\pi 64t$ , com o respectivo gráfico **T1** da **Figura 141**:



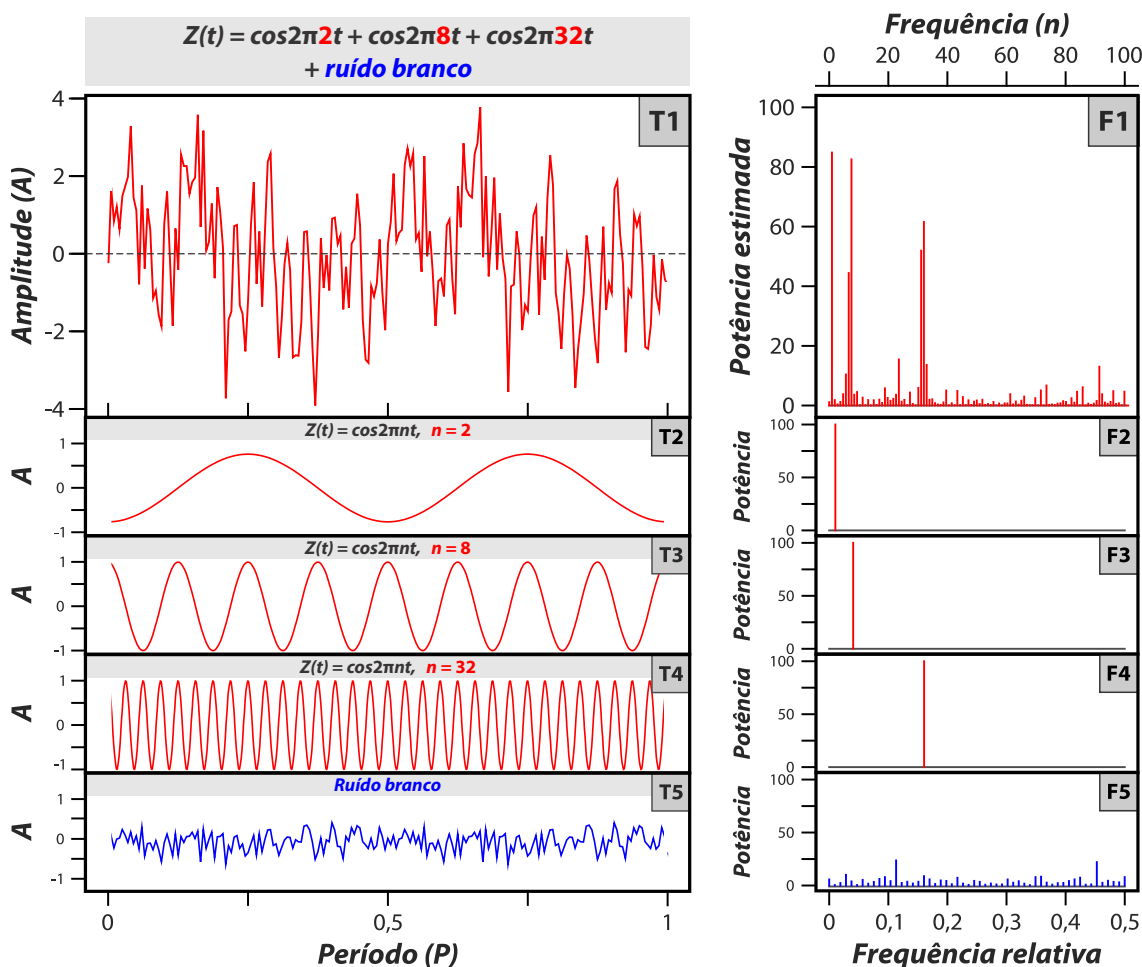
**Figura 141** – Função cossenoidal (Exemplo 8) e respectiva Análise Espectral clássica (Análise de Fourier). (A) Representação gráfica da equação cossenoidal, no domínio do tempo; (B) Representação gráfica do espectro de potência, no domínio da frequência. Fonte: elaboração própria, utilizando o programa *R Studio*.

Comparando com a correspondente curva vermelha do Exemplo 7, o gráfico **T1** da **Figura 141** ilustra uma a curva vermelha mais “ruidosa”, com prevalência de componentes de alta frequência. O espectrograma (gráfico **F1**) expõe a relação proporcional crescente nas potências das frequências, resultantes dos pesos pré-definidos aos harmônicos na série temporal.

- **Exemplo 9:** Por fim, em uma última análise, considera-se uma série temporal com uma aparência bastante próxima de uma série com dados reais, acrescentando-se uma



componente de *ruído branco*<sup>178</sup> em uma combinação de 3 harmônicos. Assim tem-se:  $Z(t) = \text{sen}2\pi 2t + \text{sen}2\pi 16t + \text{sen}2\pi 64t + \text{ruído branco}$ , cujos gráficos seguem na **Figura 142**.



**Figura 142** – Função cossenoidal (Exemplo 9) e respectiva Análise Espectral clássica (Análise de Fourier). **(A)** Representação gráfica da equação cossenoidal, no domínio do tempo; **(B)** Representação gráfica do espectro de potência, no domínio da frequência. Fonte: elaboração própria, utilizando o programa *R Studio*.

Pela análise do gráfico **T1** da **Figura 142**, percebe-se que o ruído branco acrescenta uma perturbação (variação aleatória) na oscilação periódica da composição das três componentes harmônicas. Desse modo, sendo o referido gráfico um exemplo típico de uma série temporal obtida a partir de dados reais – onde ruídos interferem nos sinais –, a observação isolada do gráfico no domínio temporal impede uma óbvia constatação visual das componentes cíclicas ocultas nessa forma de representação. Revelando os aspectos periódicos antes inobserváveis, o espectrograma do gráfico **F1**, no domínio da frequência, evidencia: a contribuição relativa

<sup>178</sup> O *ruído branco* é um sinal aleatório que possui intensidade igual em frequências diferentes, fornecendo uma densidade espectral de potência constante. O termo decorre dos primeiros estudos da decomposição da luz branca, quando, ao observar-se a dispersão da luz por um prisma, acreditava-se que ela seria uma mistura aproximadamente igual de todas as frequências visíveis – embora posteriormente fosse comprovado que a luz branca geralmente não tem uma densidade espectral de potência constante sobre a banda do visível.

respectivas frequências (2, 4 e 8 Hz) das séries originais formadoras, na ordem de 60 a 80% da potência; e a interferência associada à série dos ruídos, com menor potência relativa, na ordem média de menos de 5% (com apenas dois picos em torno de 10% de potência).

No exemplo 9, com a introdução do ruído branco, uma variável aleatória, a série deixou de ser puramente periódica, isto é, ela tornou-se estocástica. Assim, os estimadores de potência, antes discretos para as séries periódicas (visualmente pontuais e com linhas espaçadas nos gráficos), apresentaram uma distribuição contínua ao longo das correspondentes frequências. Nesse sentido, o tratamento adequado da Análise de Fourier para séries estocásticas passa ser a Transformada de Fourier, abordada no próximo item.

Para séries meteorológicas, as observações existem apenas em pontos discretos, não continuamente. Isso significa que há um número finito de pontos durante o período de observação e que, para tornar a análise gerenciável, as observações devem ser igualmente espaçadas. Nessas circunstâncias, pode-se mostrar que esses pontos podem ser analisados em termos de um número finito de senos e cossenos. Assim, a determinação do número finito de termos seno e cosseno é chamada de *análise harmônica*. O primeiro *harmônico* (ou onda fundamental) tem um período igual ao período total estudado. O segundo harmônico tem um período igual à metade do período fundamental, o terceiro harmônico, um período de um terço do fundamental, e assim por diante. Em geral, se o número de observações for  $N$ , o número de harmônicos é  $N/2$  (BURROUGHS, 2003).

#### 4.4.2.1.2 Transformada de Fourier

A estatística desempenha um papel significativo na análise espectral porque a maioria dos sinais tem um aspecto ruidoso ou aleatório. Se os atributos estatísticos subjacentes de um sinal fossem conhecidos exatamente ou pudessem ser determinados sem erro a partir de um intervalo finito do sinal, a análise espectral seria uma ciência exata. A realidade prática, no entanto, é que apenas uma estimativa do espectro pode ser feita a partir de um único segmento finito do sinal. Como resultado, a prática da análise espectral, desde a década de 1880, tendeu a ser um ofício subjetivo, aplicando a ciência, mas também exigindo um certo grau de “arte empírica” (MARPLE, 2019).

Conforme foi apresentado anteriormente, a série de Fourier é uma ferramenta poderosa no tratamento de problemas envolvendo funções periódicas, com equações senoidais bem definidas. Entretanto, problemas de processos estocásticos estacionários (que agregam variáveis aleatórias e ruídos) não envolvem funções exatamente periódicas, exceto no caso particular do processo harmônico. Assim, o desenvolvimento de um método de análise que inclui tais processos

não periódicos culminou na origem da *transformada de Fourier*, que transforma uma dada série  $Z(t)$  como representação espectral dada pela integral da seguinte equação:

$$Z(t) = \int_0^{\infty} [\alpha(w) \cdot \cos wt + \beta(w) \cdot \text{sen} wt] dw \quad (16)$$

Com propriedades análogas àquelas de  $\alpha_n$  e  $\beta_n$  da representação discreta dada na equação (9), as funções  $\alpha(w)$  e  $\beta(w)$  são estocásticas, sendo calculadas por:

$$\alpha(w) = 2 \int_{-\infty}^{\infty} Z(t) \cos(2\pi wt) dt \quad (17)$$

$$\beta(w) = 2 \int_{-\infty}^{\infty} Z(t) \text{sen}(2\pi wt) dt \quad (18)$$

Embora o desenvolvimento matemático seguido para obtenção de (17) não tenha o rigor exigido por um purista, a abordagem aqui tem o mérito de permitir a aquisição de uma percepção física da transição entre a Série de Fourier e a Transformada de Fourier, ferramenta que será mais adequada na condução de análises posteriores de séries temporais com dados reais, especialmente aqueles relacionados ao clima e à temperatura do ar.

#### 4.4.2.1.2.1 Cálculo da transformada de Fourier

Ainda que teoricamente atrativo, o cálculo prático do espectro via transformada de Fourier clássica (empregando propriedades ou soluções analíticas) não é comum. Em casos práticos, considerando que maioria das vezes não se dispõe de uma expressão analítica para a função que se deseja analisar o espectro, a avaliação da transformada de Fourier é determinada numericamente com o auxílio de computação digital. Um dos exemplos mais conhecidos é a Transformada Discreta de Fourier (DFT, sigla do inglês para *Discrete Fourier Transform*), que tem encontrado aplicações nas mais diferentes áreas do conhecimento (OLIVEIRA, 2007).

A Transformada Rápida de Fourier (cuja difundida sigla *FFT* provém do Inglês *Fast Fourier Transform*) tornou-se bem conhecida como um algoritmo muito eficiente para calcular a DFT de uma sequência de números  $N$ . A DFT é usada em muitas disciplinas para obter o espectro ou conteúdo de frequência de um sinal e facilitar o cálculo de convolução e correlação discreta. Efetivamente, o trabalho de Cooley e Tukey, publicado em 1965, sobre o algoritmo FFT<sup>179</sup> como um meio de calcular a DFT, foi um ponto de viragem no processamento de sinal

---

<sup>179</sup> Ver APÊNDICE E, item “E.3. *Fast Fourier Transform (FFT)*” (p. 416).

digital e em certas áreas de análise numérica. Eles mostraram que a DFT, que anteriormente era considerada como operações aritméticas de  $N^2$ , poderia ser calculada pelo novo algoritmo FFT usando apenas  $2N \cdot \log_2 N^{180}$  operações. Assim, esse algoritmo teve um efeito revolucionário em muitos métodos de processamento digital e permanece o mais amplamente utilizado método de computação de transformadas de Fourier.

A FFT é talvez o *algoritmo*<sup>181</sup> mais onipresente atualmente usado para analisar e manipular dados digitais ou discretos (ROCKMORE, 2000). Facilmente o algoritmo de maior alcance na matemática aplicada, a FFT revolucionou o processamento de sinais, sob diferentes óticas nos diversos campos de aplicabilidade: processamento de sinais eletroacústicos de música e áudio, imagens médicas, processamento de imagens, reconhecimento de padrões, química computacional, códigos de correção de erros, entre outras dezenas de aplicações distintas. Especificamente no tocante ao desenvolvimento e a prática da computação na Ciência e na Engenharia, a FFT foi eleita, no ano de 2.000, como um dos 10 algoritmos com maior influência do séc. 20 (DONGARRA; SULLIVAN, 2000).

#### 4.4.2.1.2.2 Estimativa espectral

Já foi visto nas diversas figuras contidas no item 4.4.2.1.1.4 (p. 296), os gráficos com o espectro de potência de uma série temporal descrevem a distribuição de potência em componentes de frequência compondo esse sinal.

Para séries periódicas, os gráficos do tipo *espectro de potência*<sup>182</sup> (ou *espectrograma*) são representados por meio do *espectro de linhas*, visto que os estimadores de potência nas frequências angulares correspondentes são valores discretos (representados pelas linhas verticais). Analogamente para as séries estocásticas, considerando que as frequências dadas pela transformada de Fourier estão distribuídos ao longo de todo o intervalo contínuo, o conjunto dos estimadores de potência passa a ser denominado como *densidade espectral de potência* (conhecido pela sigla *PSD*, do Inglês *Power Spectral Density*).

---

<sup>180</sup> Ilustrando comparativamente o esforço computacional para calcular a DFT e o algoritmo FFT, considera-se  $N = 1024$ ; assim,  $N^2 \cong 1.000.000$  e  $2N \log_2 N \cong 20.000$ , ou seja, nesse exemplo, o FFT é 50 vezes mais rápido nos cálculos.

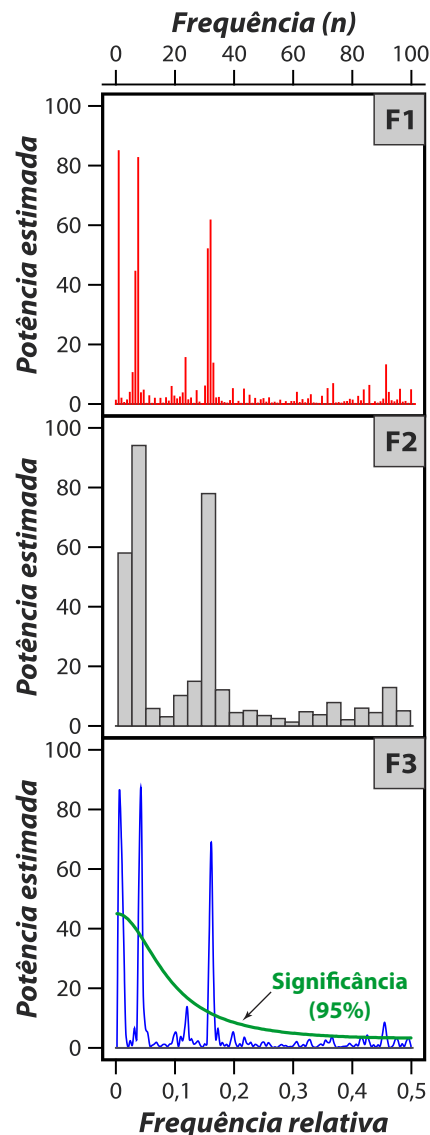
<sup>181</sup> *Algos* é a palavra grega para dor. *Algor* significa “frio” em latim. Nenhuma delas é a raiz da palavra *algoritmo*, a qual, na verdade, deriva de *al-Khwarizmi*, proveniente do nome do estudioso árabe do séc. 9, Muḥammad ibn Mūsā al-Khwarizmi [780-850 d.C.], cujo livro “Hisāb al-ğabr wa’l-muqābala” (traduzido de várias formas como “Restauração e do Balanceamento” ou “Cálculo por Conclusão e Cancelamento”) se transformou nos livros didáticos de álgebra atuais. Inclusive, o uso da operação chamada de *al-ğabr* no referido livro é a origem do atual termo *álgebra*. (MAHER, 1998). Al-Khwarizmi enfatizou a importância de procedimentos metódicos para resolver problemas. Assim, pode-se assumir, de modo simples, que um algoritmo é uma receita precisa que especifica a sequência exata de etapas necessárias para resolver um problema. Em termos modernos, com o advento das tecnologias computacionais digitais, um algoritmo pode ser interpretado como uma série finita de instruções bem definidas, implementáveis por computador e capazes de resolver um conjunto específico de problemas computáveis. Em outras palavras: por meio de um algoritmo, uma quantidade finita de entradas iniciais (dados) é processada sem ambiguidade em cada operação e, após um período finito de tempo, são retornadas as saídas (resultados).

<sup>182</sup> Às vezes, no lugar do termo *potência*, alguns autores também utilizam o termo *energia*.

Do espectro de amplitude pode-se derivar o espectro de potência. Os físicos definem *potência* como o quadrado da amplitude de um sinal. Assim, o espectro de potência é o quadrado do espectro de amplitude. As exibições de espectro às vezes mostram potência, e não amplitude, porque isso se correlaciona melhor com a percepção humana. Outra medida, a densidade espectral de potência (ou PSD), se aplica a espectros contínuos, como o ruído. Uma definição simples do PSD é que ele é o espectro de potência dentro de uma largura de banda especificada (ROADS, 1996).

Uma primeira maneira de visualizar as estimativas das potências para o domínio contínuo de frequências dadas pela transformada de Fourier é transformar o espectro de linha em um *histograma*, ou seja, distribuir a potência sobre uma *banda* (ou *barra*) em torno das respectivas frequências. Tomando-se como referência o gráfico do exemplo 9 (**Figura 142**, p. 305), os dados são representados na forma de histograma na **Figura 143-(B)**. Apesar de, por um lado, enfatizar as frequências mais significativas, tal forma de visualização em histogramas é pouco usual, uma vez que, por outro lado, reduz consideravelmente a resolução espectral.

O método de representação gráfica mais utilizado é conforme o exemplo mostrado na **Figura 143-(B)**, cujo *espectro contínuo*, de curva suavizada, denota a densidade espectral das potências das respectivas frequências. Os componentes sinusoidais individuais estão ocultos, mas a forma geral do espectro é clara. Nesse tipo de representação, costuma-se também apresentar uma curva de significância, a qual indica que os valores acima dela representam frequências significativas (no caso, com nível de 95% de confiança); e os valores abaixo indicam as frequências que são consideradas ruídos. Assim, observa-se que os picos significativos correspondem às frequências das ondas harmônicas com 2 Hz, 8 Hz e 32 Hz.



**Figura 143** – Diferentes representações espectrais da série do Exemplo 9. **(F1)** Replicação do *espectro de linhas* apresentado na **Figura 142**; **(F2)** Representação do espectro de potência sob o tipo *histograma*; **(F3)** Representação do espectro contínuo, conhecido também como *densidade espectral de potências* (ou PSD, da sigla correspondente ao termo em Inglês). Elaboração própria, utilizando-se os programas *R Studio* (gráfico F1) e *PAST* (gráfico F3).

Cada tipo de gráfico de espectro tem suas vantagens, dependendo do sinal que está sendo estudado e do objetivo da análise.

#### 4.4.2.1.2.3 Suavizações do espectro: janelas

Ao longo dos dois séculos seguintes às descobertas iniciais de Fourier, inúmeras contribuições graduais resultaram em um número considerável de métodos e técnicas aprimoradas, hoje potencializados e aperfeiçoados pela computação digital, promotora de um

salto extraordinário na rapidez dos cálculos e formas visualizações de dados. Sem aprofundar-se demasiadamente nas explicações e deduções matemáticas – podendo tal abordagem ser consultada nas referências indicadas como base teórica – parte-se, então, privilegiar uma ênfase maior nas questões práticas das Transformadas de Fourier.

Pelos exemplos até agora apresentados, nota-se que o grande poder da Transformada de Fourier consiste na sua capacidade de transformar algo “oculto” em algo “óbvio”, ou seja, as frequências significativas de uma série temporal somente se tornam visíveis quando converte-se a representação do domínio do tempo para a representação no domínio das frequências. Nesse sentido, os gráficos possuem papel fundamental: revelar e evidenciar frequências antes “invisíveis”.

Para as diferentes séries temporais objetos das análises de Fourier, cada peculiaridade e comportamento específico nas diversas aplicações demandou o desenvolvimento diversas técnicas de suavizações dos espectros. Como já dito e demonstrado anteriormente, o formato visual do espectro de linhas e o histograma são úteis para analisar séries com fortes componentes periódicos, algo que nem sempre é observado nas séries com dados reais coletados nas diversas observações da natureza, ou mesmo em experimentos controlados. Já o formato apresentado no item anterior (**Figura 143**) é o mais visualmente conveniente para representar a densidade espectral de dados contínuos e ruidosos.

Nesse contexto da elevada variedade de tipos de séries temporais, registra-se aqui que existem diversas técnicas de suavização do espectro atualmente disponíveis com implementações modernas das análises de Fourier. Basicamente, umas das principais formas de suavização do espectro é utilização de diferentes tipos de *funções de janelas*<sup>183</sup>. Tais janelas funcionam como uma forma de afunilar ou afilar (deixar mais fino) os dados brutos originais, suavizando-os e destacando frequências mais significativas. Por esse motivo, as janelas são conhecidas também como *funções de afilamento* ou *funções de apodização* (*tapering function* e *apodization function*, em Inglês).

#### 4.5. FERRAMENTAS DE ANÁLISE DE SÉRIES TEMPORAIS

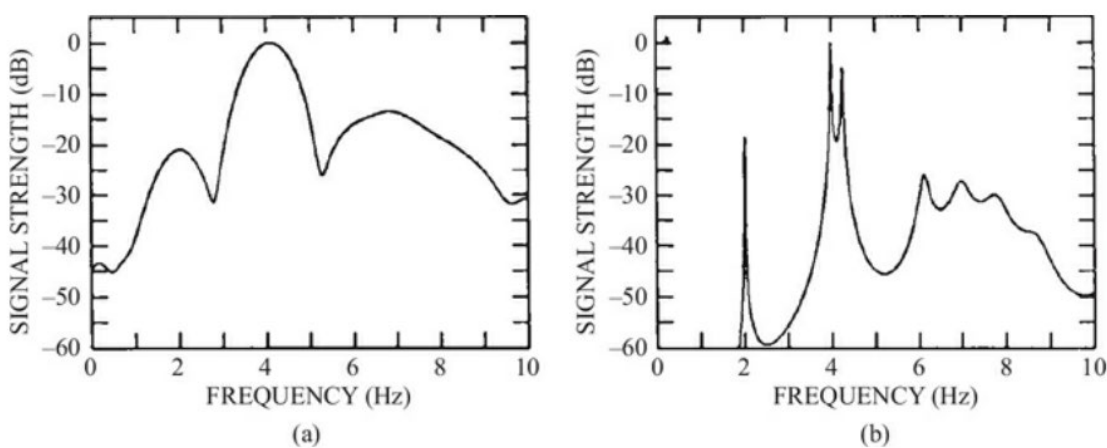
Segundo Marple (2019), a prática da estimativa espectral com conjuntos de dados finitos não é, curiosamente, uma ciência exata. Geralmente, é necessária uma grande quantidade de experimentação e análise subjetiva, com um pouco de orientação estatística na qual se confia. As análises estatísticas encontradas na literatura geralmente se baseiam na *teoria* da estimativa espectral, com todas suas nomenclaturas e expressões matemáticas. Essa teoria faz suposições

---

<sup>183</sup> Para saber mais sobre o uso de janelas no âmbito da Análise Espectral, indica-se Window (2021) como um ponto de partida introdutório.

muito restritivas sobre a natureza dos dados (por exemplo, se o componente de ruído do sinal é branco e gaussiano) e geralmente aplica-se apenas ao caso assintótico (por exemplo, no caso de séries de Fourier, com curvas bem definidas por equações senoidais, os dados disponíveis podem crescer até um tamanho infinito de registro). A prática da estimativa espectral baseia-se mais em observações experimentais empíricas do que em uma base teórica.

A dificuldade do problema de estimativa espectral é ilustrada pela **Figura 144**. Duas estimativas espectrais típicas são mostradas nesta figura, obtidas a partir da mesma sequência de amostras finitas após passar pelo processamento por duas técnicas diferentes de estimativa espectral. As diferenças significativas entre as duas estimativas espectrais podem ser atribuídas a distintas suposições feitas em relação à natureza dos dados e ao tipo de média usada no reconhecimento do impacto estatístico do ruído nos dados. Em uma situação em que nenhum conhecimento *a priori* das características do sinal está disponível, seria difícil selecionar qual dos dois estimadores espectrais representou, com melhor fidelidade, o verdadeiro espectro subjacente. Parece que a estimativa da esquerda tem uma resolução mais alta que a estimativa da direita, mas isso pode ser um artefato do processamento usado para gerar a segunda estimativa, em vez de detalhes reais existentes no espectro. Esse é o tipo de incerteza que surge na prática e que ilustra a natureza subjetiva da análise espectral.



**Figura 144** – Duas estimativas espectrais diferentes, produzidas a partir dos mesmos dados medidos. Fonte: Marple (2019).

Após realizar um levantamento, chegou-se a uma relativa extensa lista de *softwares* que possuem implementadas técnicas de análise espectral. Uma listagem das características dos principais programas está detalhada no próximo capítulo. Entre os programas testados, avaliou-se na prática, preliminarmente, o funcionamento dos algoritmos e suas implementações necessárias para calcular os vários estimadores espectrais possíveis, de modo que foi possível comparar visualmente os resultados fornecidos por cada *software* e método considerado. Após a



avaliação inicial de viabilidade, aprofundou-se no uso de cada ferramenta testada. Também no capítulo seguinte, consta os critérios que motivaram a decisão final dos *softwares* e métodos mais apropriados para a aplicação nas séries da temperatura de interesse. De qualquer forma, a escolha do *software* utilizado nas análises não significa uma posição definitiva e absoluta sobre a superioridade relativa de qualquer uma das técnicas ou programas computacionais analisados.



**VOLUME 1 – PARTE II****CAPÍTULO 5****SÉRIES TEMPORAIS:****Resultados –  
Modelagem e Previsão de Séries de Temperatura do Ar****5.1. INTRODUÇÃO**

Modelar séries temporais com vistas às previsões constitui o cerne do presente capítulo. Para tanto, por meio do uso de técnicas de séries temporais e espectrais (séries de Fourier e correlatas), procede-se a análises estatísticas (descritivas e preditivas) da série de temperatura representativa para o Brasil. Utilizando espectrogramas, os principais componentes periódicos auxiliam na determinação das causas naturais no recente aquecimento, bem como permite identificar e atribuir as oscilações de temperatura com possíveis influências de fenômenos periódicos físicos (climáticos, oceânicos, atmosféricos e/ou astronômicos) mais importantes. Por fim, com base nos ciclos climáticos identificados, são apresentados modelos preditivos alternativos de projeção das temperaturas do ar no Brasil, os quais são confrontados com os modelos convencionais utilizados pela abordagem típica do IPCC.

**5.2. SELEÇÃO DOS DADOS DE TEMPERATURA**

Nesse capítulo serão analisadas séries de temperatura do ar na superfície global e no território continental brasileiro. Conforme apontado por Oliveira (2010), as principais séries instrumentais globais utilizadas pelo IPCC são:

1. **HadCRU:** série da *University of East Anglia Climate Research Unit (CRU)*;
2. **NCDC/NOAA:** *National Climatic Data Center*, série da *National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)*;

3. **GISS:** *Goddard Institute for Space Studies*, série da *National Aeronautics and Space Administration's (NASA)*. As séries NCDC e GISS usam dados da *Global Historical Climatology Network (GHCN)*; e
4. **BEST:** série da *Berkeley Earth Surface Temperature*.

Conforme detalhados no CAPÍTULO 3, item “3.2.4.1. Trabalhos de Nicola Scafetta” (p. 248), os trabalhos de Scafetta utilizam majoritariamente as séries da HadCRU e, por esse motivo, essa será adotada aqui nas análises das temperaturas superficiais globais.

No tocante à obtenção e avaliação de séries de temperatura do ar do Brasil, esforços sob diferentes enfoques foram dedicados em uma série de pequenos estudos anteriores<sup>184</sup>, a partir dos quais concluiu-se que a utilização de dados de temperatura da rede de estações meteorológicas do INMET se mostrou pouco viável, em virtude:

- Da elevada quantidade de falhas nos dados – os dados faltantes representam 36% do período das séries, sendo que algumas séries possuem falhas de até 90% do tempo<sup>185</sup>;
- Da má distribuição e baixa representatividade espacial das estações – até 1925, somente 50% da área do Brasil estava coberta por estações e, em 2010, a cobertura englobava 93,2% do território brasileiro<sup>186</sup>;
- Das decorrentes mudanças da “posição da temperatura média do Brasil”, que se deslocou consideravelmente ao longo do tempo<sup>187</sup>; e
- Das interferências ocasionadas pela proximidade das estações com centros urbanos, contaminando as medições de temperatura com o aquecimento local gerado pelas ilhas urbanas de calor – em 2010, 86,2% das estações da rede do INMET estava localizada próxima a cidades de diferentes tamanhos<sup>188</sup>.

---

<sup>184</sup> Conforme apresentados no APÊNDICE F (p. 423).

<sup>185</sup> Item “F.3. Temperatura do ar no Brasil: Análise preliminar de dados obtidos na rede do INMET, de 1961 a 2011” (p. 423).

<sup>186</sup> Item “F.4. Distribuição e representatividade espacial da rede brasileira de estações climatológicas do INMET para uso potencial dos dados de temperatura do ar” (p. 424).

<sup>187</sup> Item “F.5. Evolução temporal da localização média da temperatura do ar obtida em estações da rede do INMET” (p. 424).

<sup>188</sup> Item “F.2. A expansão urbana como processo de “transformação” de estações climatológicas rurais em urbanas” (p. 423).

Por fim, em comparação<sup>189</sup> das séries do INMET, HadCRUT4 e BEST, concluiu-se que esta última série possui maior período de dados, além de possuir relativo bom controle de qualidade e correção dos dados. Portanto, conforme recomendado no referido estudo, adota-se aqui o uso da série BEST como referência de temperatura do ar no Brasil.

Assim, os dados de temperatura usados nas análises subsequentes são:

- **Temperatura do ar superficial global:** série *HadCRUT3*, mensal<sup>190</sup>, de 1850 a 2011. Conforme indicado pela fonte original, os desvios/anomalias de temperatura dessa série são relativos à média do período jan/1961 a dez/1990.
- **Temperatura do ar superficial no Brasil:** série *BEST*, mensal<sup>191</sup>, de 1850 a 2011. Conforme indicado pela fonte original, os desvios/anomalias de temperatura dessa série são relativos à média do período jan/1951 a dez/1980<sup>192</sup>.

Registra-se que todas as séries de temperatura do ar – sejam elas globais, regionais, nacionais e locais – estão sujeitas e diversas incertezas e erros associados às causas de heterogeneidades<sup>193</sup> (interferências) na obtenção (medição/observação e cálculos) de valores de temperatura, em virtude de: mudanças dos horários de observação e cálculos da temperatura média diária; mudanças dos tipos de instrumentos utilizados (convencionais e automáticos) e mudanças nos abrigos meteorológicos. interferências e influências. Tais fatores comprometem o

---

<sup>189</sup> Item “F.6. Temperatura do ar no Brasil desde 1832: comparação dos dados do INMET, HadCRUT4 e BEST” (p. 424).

<sup>190</sup> No APÊNDICE G, item “G.1. Temperatura superficial do ar global – HADCRUT3” (p. 425), consta uma tabela com os dados mensais da série HadCRUT3. Os dados originais estão disponíveis em: <https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/crutem3/> – Especificamente na Tabela *Data for Downloading Dataset: HadCRUT3, Hemispheric & global means: GL* – Link direto: <https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/crutem3/HadCRUT3-gl.dat> | Cópias dos arquivos também estão disponíveis em: [http://bit.ly/tese\\_oliveira\\_2021](http://bit.ly/tese_oliveira_2021)

<sup>191</sup> No APÊNDICE G, item “G.2. Temperatura superficial do ar global – BEST” (p. 427), consta uma tabela com os dados mensais da série BEST. Os dados originais estão disponíveis em: <https://web.archive.org/web/20170615092802/http://berkeleyearth.lbl.gov/regions/brazil> – Especificamente no link direto: <https://web.archive.org/web/20170615092802/http://berkeleyearth.lbl.gov/auto/Regional/TAVG/Text/brazil-TAVG-Trend.txt> - OBS: essa versão arquivada estava disponível no site do *BEST* até 2017. Depois dessa data, uma nova série está disponível em: <http://berkeleyearth.lbl.gov/regions/brazil> – No entanto, diferente da versão anterior, a versão atual apresenta falhas/ausência de dados antes de 1890. | Cópias dos arquivos também estão disponíveis em: [http://bit.ly/tese\\_oliveira\\_2021](http://bit.ly/tese_oliveira_2021)

<sup>192</sup> Apesar de as séries global e do Brasil possuírem períodos de referência diferentes, os desvios/anomalias resultantes não representam qualquer tipo de inconveniente às análises desenvolvidas.

<sup>193</sup> Conforme abordado em Oliveira (2010). As incertezas sistemáticas em medições meteorológicas podem ser agrupadas em várias classes, conforme apresentado por Limburg (2014).

uso da temperatura do ar como uma evidência confiável de mudanças do clima, uma vez que mudanças não-climáticas interferem significativamente nas medições/cálculos.

### 5.3. LEVANTAMENTO E SELEÇÃO DE FERRAMENTAS DE ANÁLISE (*SOFTWARES*)

A análise espectral envolve técnicas cujo processamento não é algo simples de ser realizado em planilhas convencionais como o *Microsoft Excel* ou *LibreOffice Calc*. Apesar da elevado potencial de uso em diversas aplicações de tais programas aplicativos (doravante *softwares*), que permitem o uso de fórmulas e cálculos, eles possuem poucos recursos. Foi brevemente testada a ferramenta de FFT no *Excel*<sup>194</sup>, no entanto, ela se demonstrou bastante limitada.

Em pesquisa pelas publicações científicas (teses, dissertações e artigos) contendo análise espectral, verificou-se o uso de *softwares* estatísticos especializados. Como *software* pago, o *Matlab*, da *MathWorks*, parece ser hoje um padrão de ambientes de processamento de sinais. Entre outros programas pagos, também se destacou o *Origin*, da *OriginLab*. Em decorrência de convênio, esses e outros programas pagos estão disponíveis no *site*<sup>195</sup> da USP para o uso por estudantes e docentes em atividades de ensino, docência e pesquisa. No entanto, tais programas foram testados e verificou-se que se tratam de versões não completas, e justamente as ferramentas de análise espectral não constavam na versão limitada. Como alternativa aos *softwares* pagos, recorreu-se primeiramente ao *GNU Octave*, uma alternativa gratuita ao *Matlab*. Todavia, verificou-se que um dos pacotes específicos de análise espectral do *Matlab* não era compatível e não abria no *Octave*.

Como premissa fundamental na escolha de potenciais *softwares*, focou-se a busca em aplicativos gratuitos e/ou de código livre. Foram encontrados os seguintes programas, partindo do menor para maior preferência:

- ***AnalySeries***<sup>196</sup>: desenvolvido por Paillard, Labeyrie e Yiou (1996), é um programa antigo e bem conhecido na comunidade de cientistas de paleoclima.

---

<sup>194</sup> Para utilizar a ferramenta "Análise de Fourier" no Excel, o próprio caminho já é algo pouco intuitivo: é necessário seguir o seguinte caminho: Clicar no botão "Office" > "Opções" > "Suplementos", selecionar "Ferramentas de Análise" e clicar em "Ir". Após, selecionar "Ferramentas de Análise" e clicar em "OK". Em seguida, abrir a guia "Dados" e selecionar "Análise de Dados", que abrirá uma janela onde deve-se selecionar a opção "Análise de Fourier". Além da complicada ativação desse recurso, os cálculos desse tipo de análise no Excel possuem limitações indesejáveis quanto ao tamanho da série de dados.

<sup>195</sup> <http://software.sti.usp.br/>

<sup>196</sup> Disponível para *download* em: <https://www.lscce.ipsl.fr/Phocece/Page/index.php?id=3>

Funciona somente em sistemas operacionais *macOS* (*Apple*) de 32 bits, o que representa sua principal restrição de uso, pois é preciso ter um equipamento compatível, pouco acessível. Foi brevemente testado e se mostrou útil para algumas análises espectrais. No entanto, por ser antigo, possui defeitos e limitações. Em 2019, o programa foi descontinuado (não terá mais atualizações), pois a *Apple* deixou de dar suporte a sistemas de 32 bits.

- ***QAnalyseries***<sup>197</sup>: recentemente concebido por Kotov e Pälke (2018) como um programa substituto ao *AnalySeries*, pode ser usado por um público maior porque está habilitado para rodar em sistemas operacionais *macOS*, *Windows* e *Linux*. Não foi testado.
- ***ARIST***<sup>198</sup>: programa simples mas eficiente, executável em *Windows*, desenvolvido por pesquisadores brasileiros do INPE (RIGOZO; NORDEMANN, 1998). Em arquivo executável que roda em tela em terminal de comando, tem o uso relativamente simples, com entrada de dados e argumentos, com posterior geração de arquivo como saída da análise única.
- ***SSA Toolkit***<sup>199</sup>: *software* executável somente em ambiente *Linux*, possui diversas técnicas de análise espectral, com opções bastante avançadas, o que exige experiência e domínio técnico do usuário. Como um dos programas usados pelo pesquisador Scafetta<sup>200</sup>, realiza cálculos bastante precisos e personalizáveis, além de produzir gráficos de boa qualidade visual. A instalação do *SSA Toolkit* e do visualizador *GRACE* associado é um pouco complicada, exigindo conhecimento no uso e configuração do sistema *Linux*.

---

<sup>197</sup> Disponível para *download* em: <https://sites.google.com/site/geokotov/software>

<sup>198</sup> Disponível para *download* em: [http://bit.ly/tese\\_oliveira\\_2021](http://bit.ly/tese_oliveira_2021) – OBS: Buscou-se contato com os referidos autores do programa, no entanto, não houve retorno. Em contato pessoal (*e-mail*) com a Profa. Dra. Caren Lorensi, que foi orientada por um dos autores do programa, foi concedido o arquivo executável original e o correspondente código fonte do *ARIST*. Revisado e adaptado pelo cientista da computação Nelson Antônio de Oliveira, o arquivo executável original – que somente é executado em *Windows* 32 bits – foi alterado para poder ser executado no *Windows* 10, 64 bits, ficando o arquivo disponível para *download* no citado *link*. Alternativamente, o código fonte do programa *ARIST*, em linguagem *C*, está apresentado no APÊNDICE H, item “H.1. *ARIST*” (p. 431).

<sup>199</sup> Disponível para *download* em: <http://research.atmos.ucla.edu/tcd/ssa/>

<sup>200</sup> Conforme CAPÍTULO 3, item “3.2.4.1. Trabalhos de Nicola Scafetta” (p. 237).

- **PAST**<sup>201</sup>: *software* livre para ambientes *Windows* e *macOS*, bastante completo para a análise de dados científicos, com funções para manipulação de dados, plotagem, estatística univariada e multivariada, análise ecológica, morfometria, estratigrafia, análise espacial e séries temporais, incluindo diversas técnicas de análise espectral. É o programa de mais fácil uso de todos: possui a aparência típica de planilhas convencionais (com linhas e colunas), facilitando a inserção a manipulação de dados; possui acessos às análises e funções por meio de cliques em menus e botões; gera gráficos de ótima qualidade. Enfim, é um programa potente, bastante intuitivo e fácil de usar, não exigindo muito conhecimento em programação.
- **RStudio**<sup>202</sup>: executável em *Windows*, *Linux* e *macOS*, é uma interface gráfica que utiliza a *linguagem R*, que está entre as mais utilizadas linguagens de programação no mundo. O *R* também é o ambiente de *software* livre para computação estatística, análise, manipulação de dados e visualização de dados (geração de gráficos e figuras). Ao contrário da maioria dos *softwares* anteriores, o *R* em si não é um tipo aplicativo visual, ou seja, a preocupação não é com uma interface simples de ser usada, mas com sim com flexibilidade e capacidade de manipulação de dados e realização de análises. Seu funcionamento é fundamentado em linhas de comandos, programações. Por isso, se torna, por um lado, um ambiente pouco amigável para muitos usuários, mas, por outro lado, é um *software* altamente poderoso que possui inúmeros recursos e possibilidades de análises estatísticas.

Diante da breve descrição das características dos retrocitados *softwares*, optou-se pelo uso do *RStudio* para conduzir as análises a seguir. Todos os citados programas executam, com maior ou menor dificuldade, análises espectrais capazes de identificar periodicidades em séries temporais. No entanto, além desse tipo de análise, o *RStudio* permite manipular os dados, gerar modelos de ajustes e fornecer gráficos variados, algo que nenhum dos outros *softwares* gratuitos e/ou de código livre permite fazer. Em suma, os fatores cruciais da escolha do *RStudio* para elaboração das análises foram: o *software* é gratuito; é compatível com diversos sistemas operacionais; é amplamente conhecido e de

---

<sup>201</sup> Disponível para *download* em: <https://www.nhm.uio.no/english/research/infrastructure/past/>

<sup>202</sup> Disponível para *download* em: <https://www.rstudio.com/> – Como um ótimo manual de referência em Português sobre o *R*, indica-se o material disponibilizado pelo Prof. João Luís F. Batista, da ESALQ/USP, relativo à disciplina “LCF-5876 – Computação no Ambiente *R*: Aplicações em Ecologia e Recursos Florestais”, disponível em: <http://cmq.esalq.usp.br/Philodendros/doku.php?id=lcf5876:start>



reputação científica consolidada; possui linguagem de programação vastamente utilizada; além de realizar análises espectrais (funcionalidade que todos os programas anteriores possuem), é um ambiente completo que permite também a realização de análises estatísticas diversas, incluindo pacotes (bibliotecas contendo funções específicas) de inúmeros métodos de manipulação de dados, de modelagem e ajustes de regressão, de elaboração de projeções baseadas em modelos; e, por fim, é um *software* com total flexibilidade na confecção de gráficos e figuras de alta qualidade.

#### 5.4. INSTRUÇÕES (PROGRAMAÇÃO) DE ELABORAÇÃO DOS CÁLCULOS E CONFECÇÃO DOS GRÁFICOS

Para conferir maior fluidez ao texto aqui, os códigos de programação em linguagem *R* que foram utilizados no programa *RStudio* estão apresentados no APÊNDICE H, item “H.2. *RStudio*” (p. 439)<sup>203</sup>. As linhas de programação estão devidamente documentadas, ou seja, cada um dos passos importantes possui um comentário<sup>204</sup> correspondente. O código também foi destacado em cores, para facilitar a visualização e diferenciação dos comandos, argumentos, variáveis, valores, comentários etc. No *RStudio*, muitos dos cálculos realizados ficam armazenados de modo “oculto” no referido programa. Etapas intermediárias não são detalhadas aqui, sendo apenas citadas quando necessário. Na sequência, ênfase é dada à apresentação dos resultados que são, essencialmente, os gráficos elaborados a partir de cada etapa/técnica aplicada.

Ressalta-se que, antes de aplicar as técnicas de análise espectral aos dados da série da temperatura no Brasil, primeiro elas serão testadas na série de temperatura global. Essa fase de teste e calibragem é importante para saber se os resultados estão de acordo com o esperado. Isto é, se os resultados aqui obtidos estiverem compatíveis com os resultados já obtidos por Scafetta<sup>205</sup>, conforme apresentados no capítulo anterior, então significa que as ferramentas estatísticas se comprovam como adequadas para serem utilizadas na série de temperatura brasileira.

O desenvolvimento da análise segue um roteiro dividido nas etapas:

---

<sup>203</sup> Alternativamente, os códigos da programação e os arquivos correspondentes, no formato *.R*, estão disponíveis no *link*: [http://bit.ly/tese\\_oliveira\\_2021](http://bit.ly/tese_oliveira_2021)

<sup>204</sup> Na linguagem *R*, qualquer texto que vier depois do símbolo *#* é considerado um comentário, que não executa qualquer função.

<sup>205</sup> Conforme CAPÍTULO 3, item “3.2.4.1. Trabalhos de Nicola Scafetta” (p. 237).

- **ETAPA 1 – ANÁLISE DESCRITIVA:** apresentação das anomalias de temperatura seguida de tratamento da série temporal em estudo, removendo a tendência, estudando a sua sazonalidade e tornando-a estacionária.
- **ETAPA 2 – ANÁLISES ESPECTRAIS:** transformando a série temporal, que está no domínio do tempo, para o domínio da frequência, utilizando alguns métodos como o periodograma de Lomb-Scargle, o Método Multi Taper (MTM<sup>206</sup>), o Método da Máxima Entropia (MEM<sup>207</sup>) e o periodograma clássico – Transformada Rápida de Fourier (FFT<sup>208</sup>), com as suas respectivas curvas de confiança.
- **ETAPA 3 – ANÁLISE PREDITIVA – MODELAGEM E PROJEÇÕES:** ajustando modelo à série das temperaturas observadas, usando como base os períodos significativos identificados na análise espectral, com posterior geração de valores projetados de temperaturas futuras.

## 5.5. ANÁLISE DA TEMPERATURA DO AR GLOBAL

### 5.5.1. ETAPA 1 – Análise Descritiva e Remoção de Tendência

Na primeira etapa, é realizada a análise descritiva sobre a série de temperatura do ar global. Os dados de temperatura da série HadCRUT3<sup>209</sup> foram carregados e convertidos no *RStudio*<sup>210</sup>. Os primeiros resultados são apresentados na **Figura 145** e na **Figura 146**, as quais apresentam os valores das anomalias de temperatura na resolução mensal e anual, respectivamente. É possível observar uma tendência crescente ao longo dos anos, bem como alguns ciclos mais evidentes que indicam periodicidades na série.

---

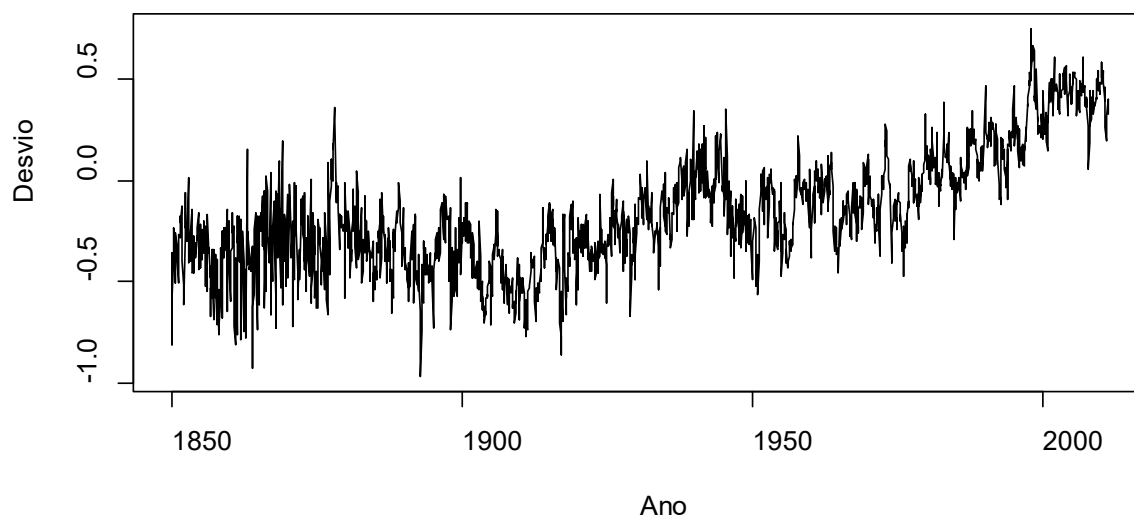
<sup>206</sup> Sigla do Inglês para *Multi Taper Method*.

<sup>207</sup> Sigla do Inglês para *Maximum Entropy Method*.

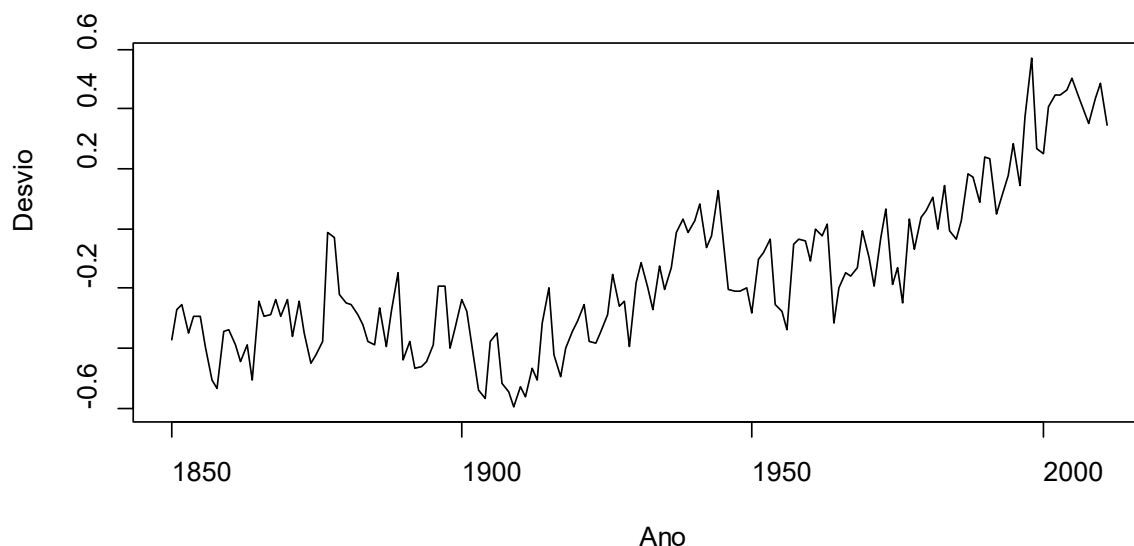
<sup>208</sup> Sigla do Inglês para *Fast Fourier Transform*.

<sup>209</sup> Uma tabela com os dados mensais da série HadCRUT3 consta no APÊNDICE G, item “G.1. Temperatura superficial do ar global – HADCRUT3” (p. 425).

<sup>210</sup> Os códigos de programação em linguagem *R* que foram utilizados no programa *RStudio* para análise da série de temperatura global (HadCRUT3) estão apresentados no APÊNDICE H, item “H.2.1. Códigos de análise da temperatura – GLOBAL” (p. 435).

**HadCrut3 - Desvio de temperatura me**

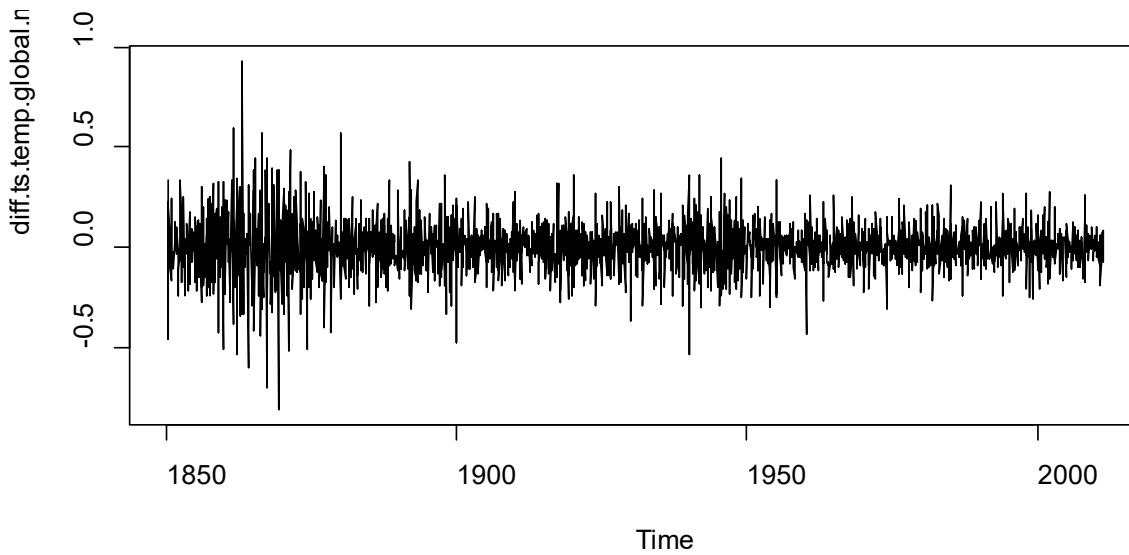
**Figura 145** – Anomalias mensais da temperatura global na superfície, a partir da série HadCRUT3, de 1850 a 2011. Fonte: elaborado no *RStudio*, com dados de CRU (2014).

**HadCrut3 - Desvio de temperatura an**

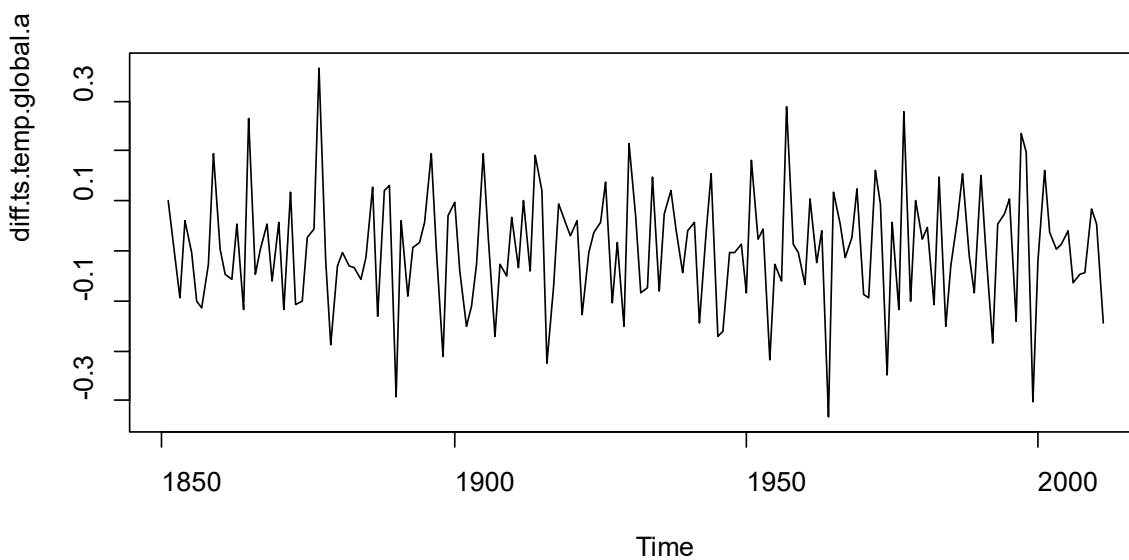
**Figura 146** – Anomalias anuais da temperatura global na superfície, a partir da série HadCRUT3, de 1850 a 2011. Fonte: elaborado no *RStudio*, com dados de CRU (2014).

Uma primeira etapa imprescindível na análise de séries temporais é tornar a série estacionária, ou seja, remover a tendência. Para isso, um dos métodos mais comuns é a diferenciação, que foi aplicada às duas séries anteriores, resultando nos gráficos das **Figura 147** e

da **Figura 148**. Nota-se que esse método remove muitas das periodicidades de interesse, o que não é conveniente para as análises espectrais em questão.

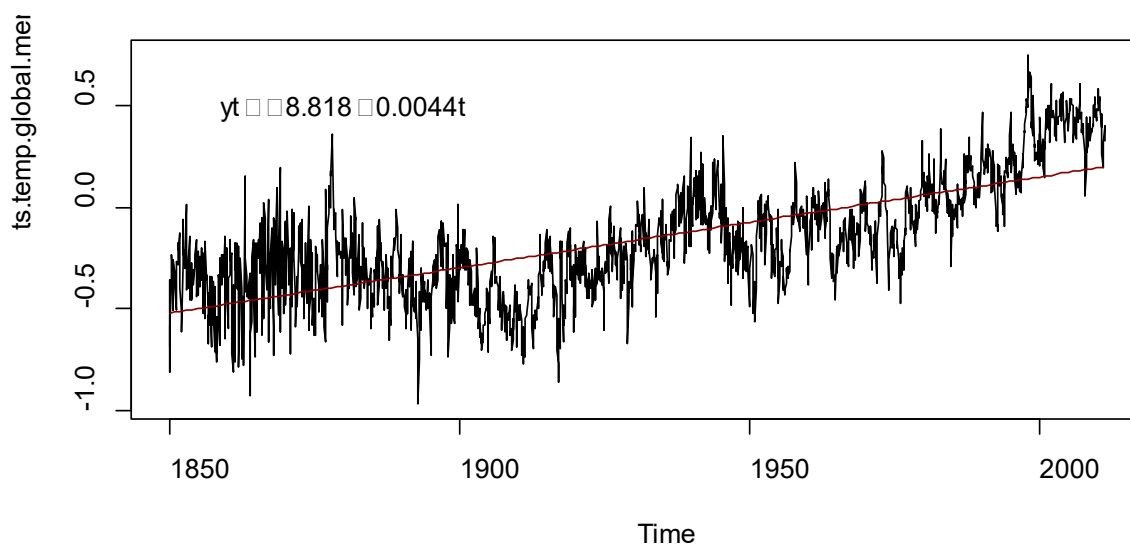


**Figura 147** – Série das anomalias mensais da temperatura global na superfície, após diferenciação (remoção de tendência). Fonte: elaborado no *RStudio* a partir dos dados da Figura 145.

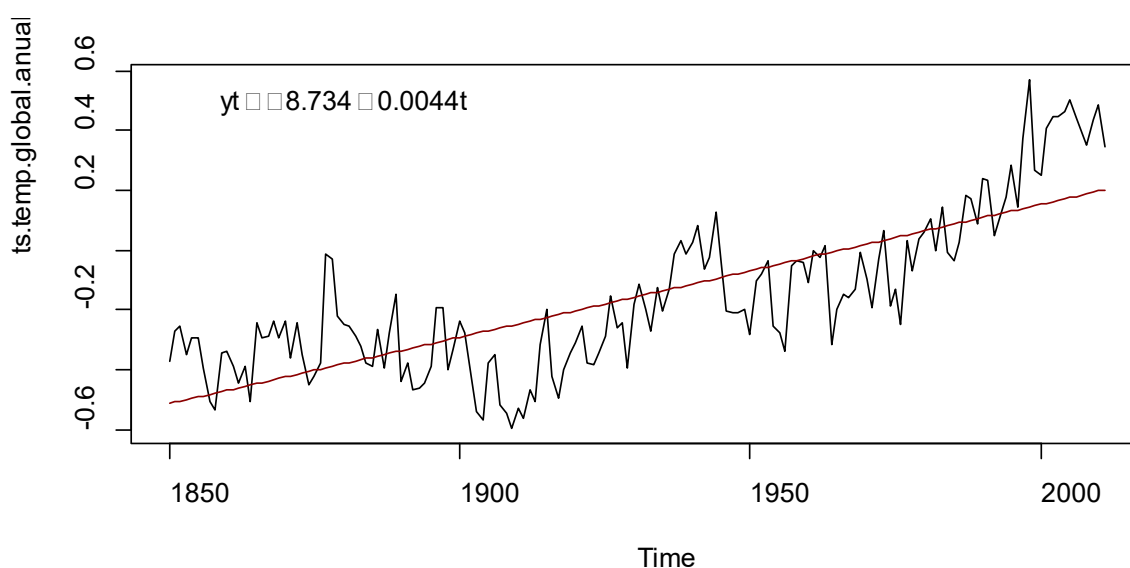


**Figura 148** – Série das anomalias anuais da temperatura global na superfície, após diferenciação (remoção de tendência). Fonte: elaborado no *RStudio* a partir dos dados da Figura 146.

Pelos resultados apresentados por Scafetta<sup>211</sup>, entre outros autores, a abordagem ideal para remoção de tendências é utilizar um ajuste linear ou um ajuste polinomial (quadrático). Nesse sentido, primeiro realizou-se os ajustes às curvas e, em seguida, subtraiu-se as séries dos ajustes, obtendo-se os resíduos. Os resultados dos ajustes lineares são apresentados na **Figura 149** e **Figura 150**, e os respectivos resíduos estão exibidos na **Figura 151** e **Figura 152**.

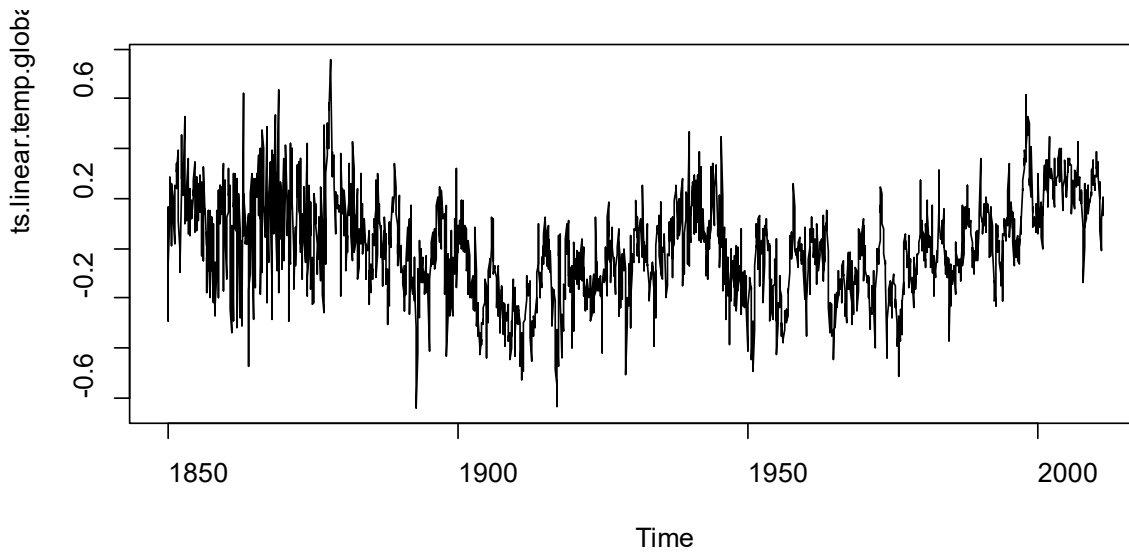


**Figura 149** – Ajuste linear (linha vermelha) à série das anomalias mensais da temperatura global na superfície (linha preta). Fonte: elaborado no *RStudio* a partir dos dados da Figura 145.

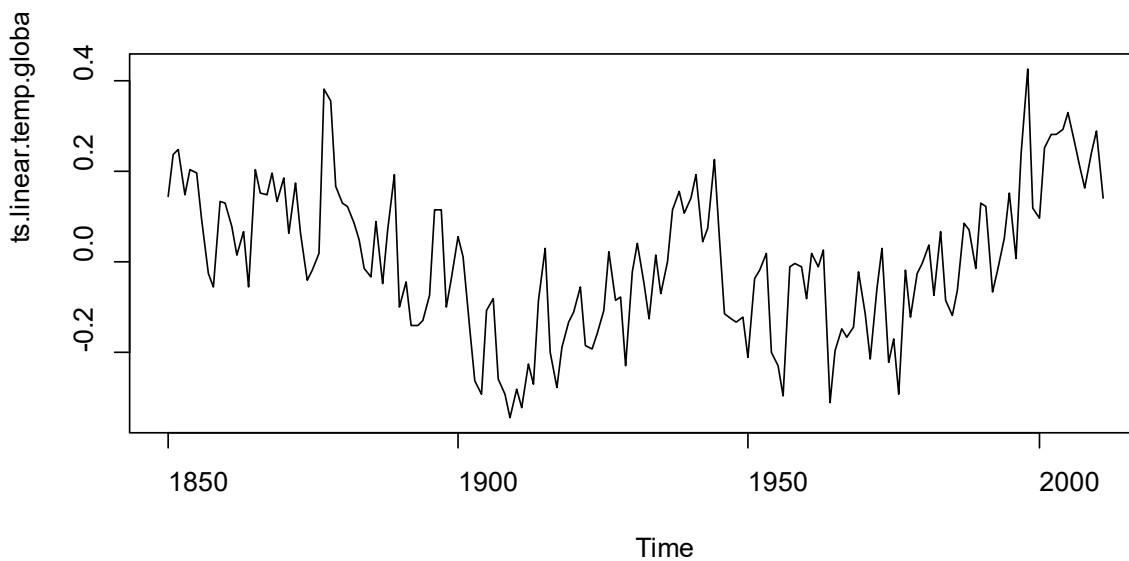


**Figura 150** – Ajuste linear (linha vermelha) à série das anomalias anuais da temperatura global na superfície (linha preta). Fonte: elaborado no *RStudio* a partir dos dados da Figura 146.

<sup>211</sup> Conforme CAPÍTULO 3, item “3.2.4.1. Trabalhos de Nicola Scafetta” (p. 237).

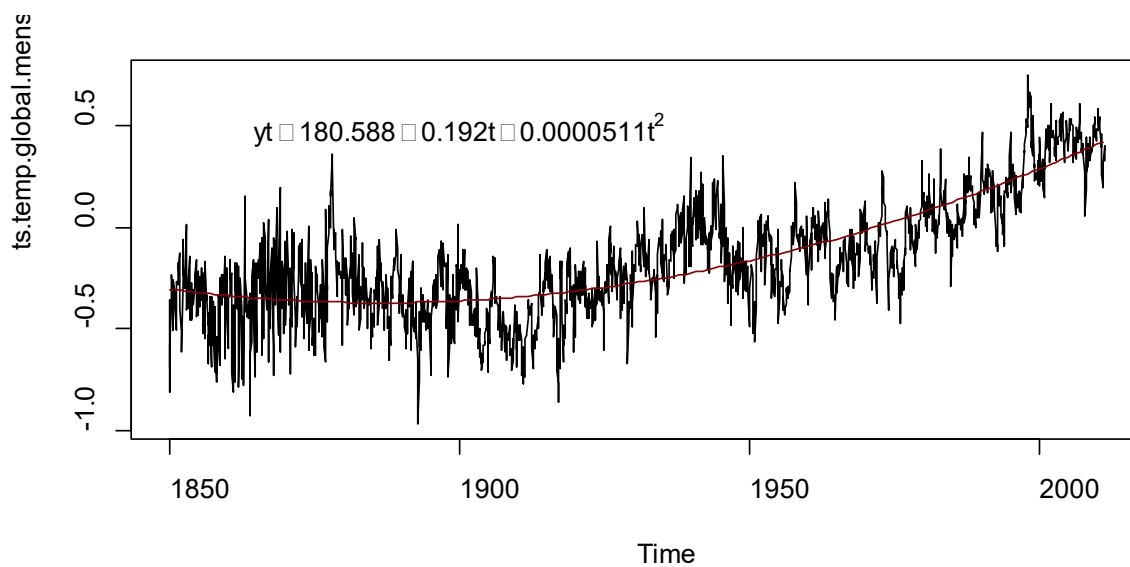


**Figura 151** – Resíduos da série das anomalias mensais da temperatura global na superfície, após remoção da tendência linear. Fonte: elaborado no *RStudio* a partir dos dados da Figura 149.

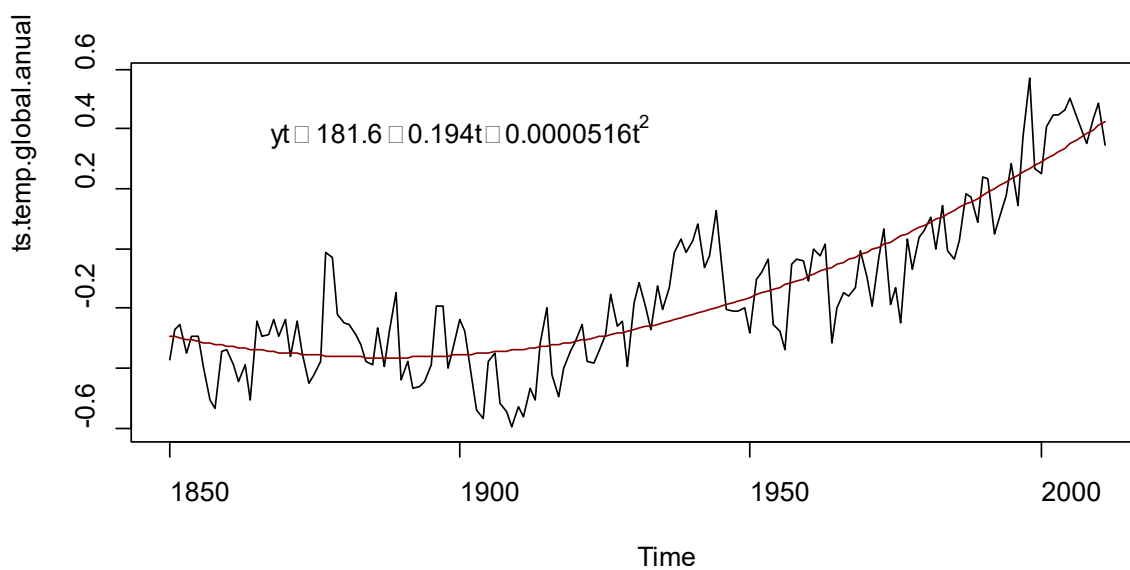


**Figura 152** – Resíduos da série das anomalias anuais da temperatura global na superfície, após remoção da tendência linear. Fonte: elaborado no *RStudio* a partir dos dados da Figura 150.

Diferente da remoção de tendências por meio da diferenciação, os resultados da remoção de tendência após diferença com o ajuste linear apresentou resíduos com comportamento oscilatório típico, apresentando o evidente ciclo de período de cerca de 60 anos. Procedimento semelhante foi realizado com ajustes polinomiais (quadráticos), vide **Figura 153** e **Figura 154** e os respectivos resíduos na **Figura 155** e **Figura 156**.

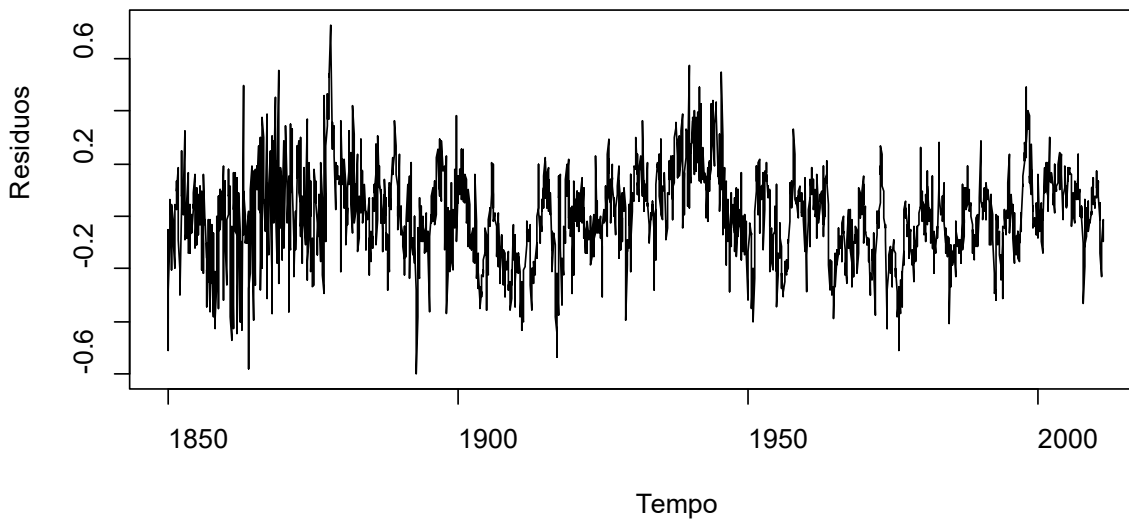


**Figura 153** – Ajuste polinomial (quadrático, linha vermelha) à série das anomalias mensais da temperatura global na superfície (linha preta). Fonte: elaborado no *RStudio* a partir dos dados da Figura 145.



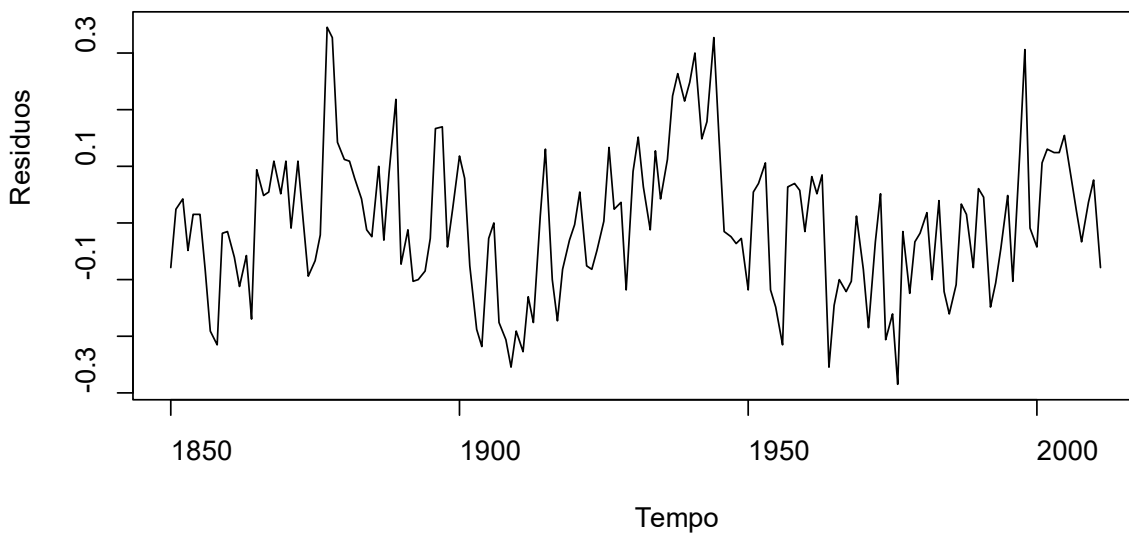
**Figura 154** – Ajuste polinomial (quadrático, linha vermelha) à série das anomalias anuais da temperatura global na superfície (linha preta). Fonte: elaborado no *RStudio* a partir dos dados da Figura 146.

### série mensal sem tendência usando $l$



**Figura 155** – Resíduos da série das anomalias mensais da temperatura global na superfície, após remoção da tendência polinomial (quadrática). Fonte: elaborado no *RStudio* a partir dos dados da Figura 153.

### série anual sem tendência usando $p$

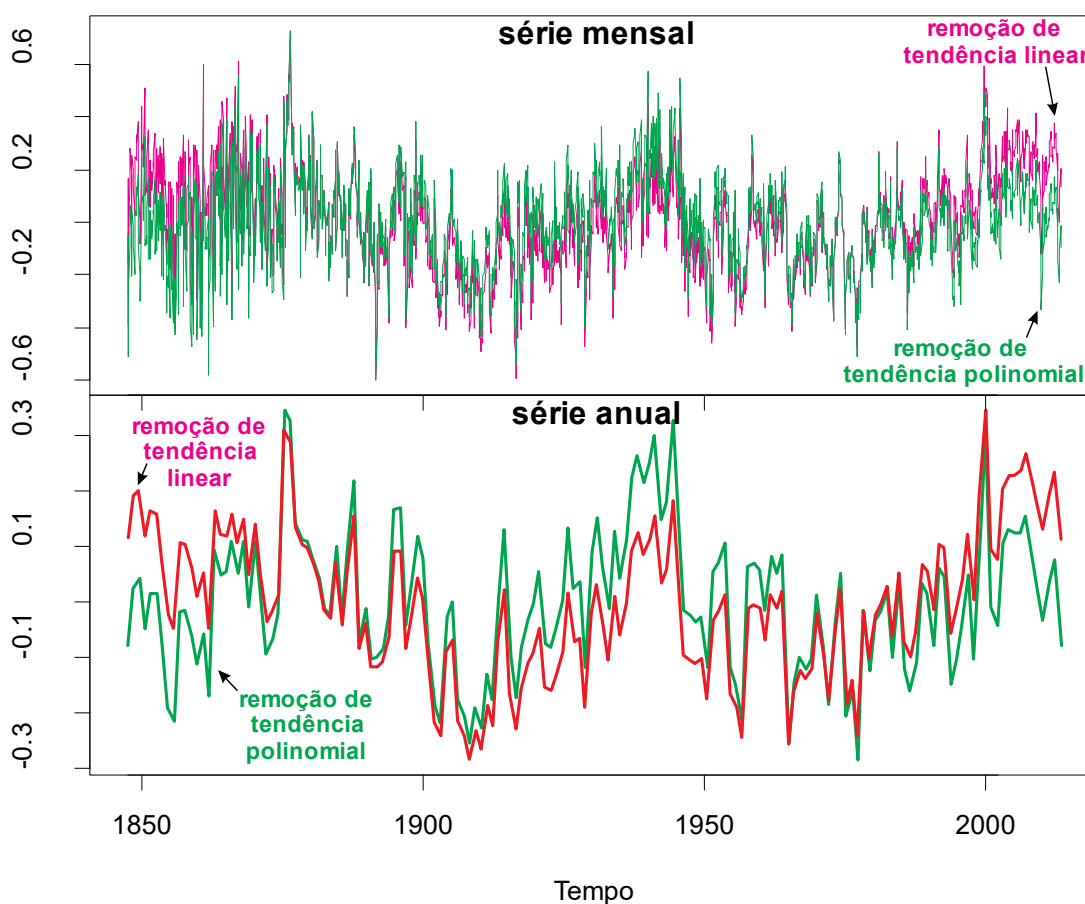


**Figura 156** – Resíduos da série das anomalias anuais da temperatura global na superfície, após remoção da tendência polinomial (quadrática). Fonte: elaborado no *RStudio* a partir dos dados da Figura 154.

Comparando individualmente cada uma das figuras dos resíduos oriundos dos ajustes lineares e polinomiais, parece não existir diferenças significativas, pois ambos exibem o ciclo de aproximadamente 60 anos. No entanto, quando se compara em um mesmo gráfico (**Figura 157**), nota-se que existem diferenças principalmente na parte central e nos extremos dos



resíduos dos ajustes lineares (linhas vermelhas): em relação aos resíduos dos ajustes polinomiais (linhas verdes), eles estão ligeiramente mais para cima nos extremos e mais para baixo na parte central. Essa diferença provoca distorções indesejáveis nos periodogramas, conforme será mostrado a seguir.



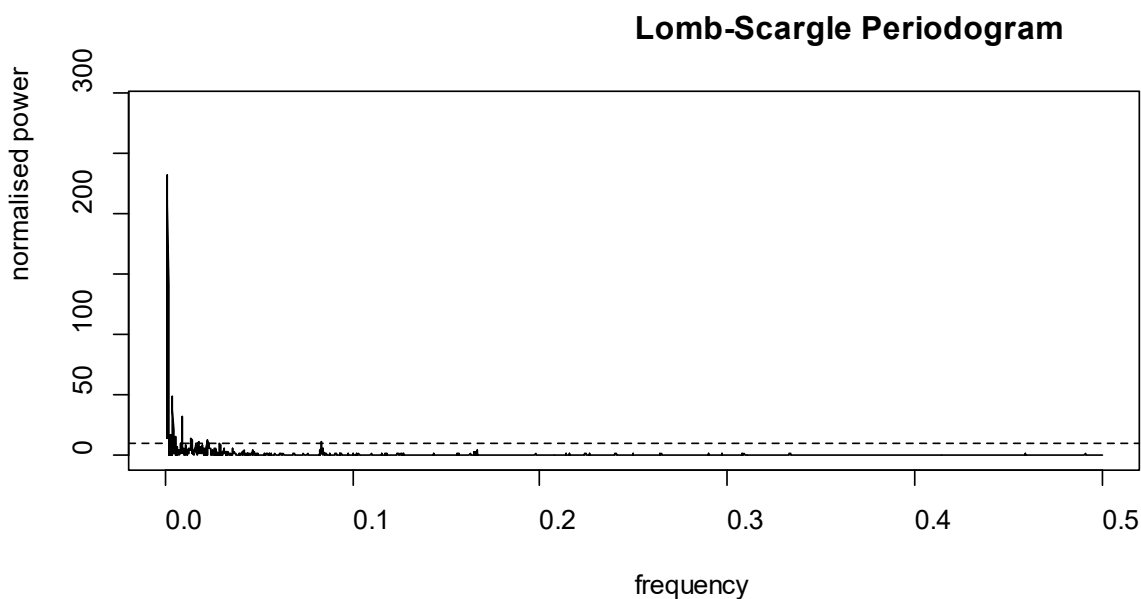
**Figura 157** – Comparação entre resíduos da série das anomalias (mensais, gráfico superior; anuais, gráfico inferior) da temperatura global na superfície, após remoção das tendências lineares (linhas vermelhas) e polinomiais (linhas verdes). Fonte: elaborado no *RStudio* a partir dos dados da Figura 151, Figura 152, Figura 155 e Figura 156.

## 5.5.2. ETAPA 2 – Análises Espectrais

### 5.5.2.1. Periodograma – Método de Lomb-Scargle

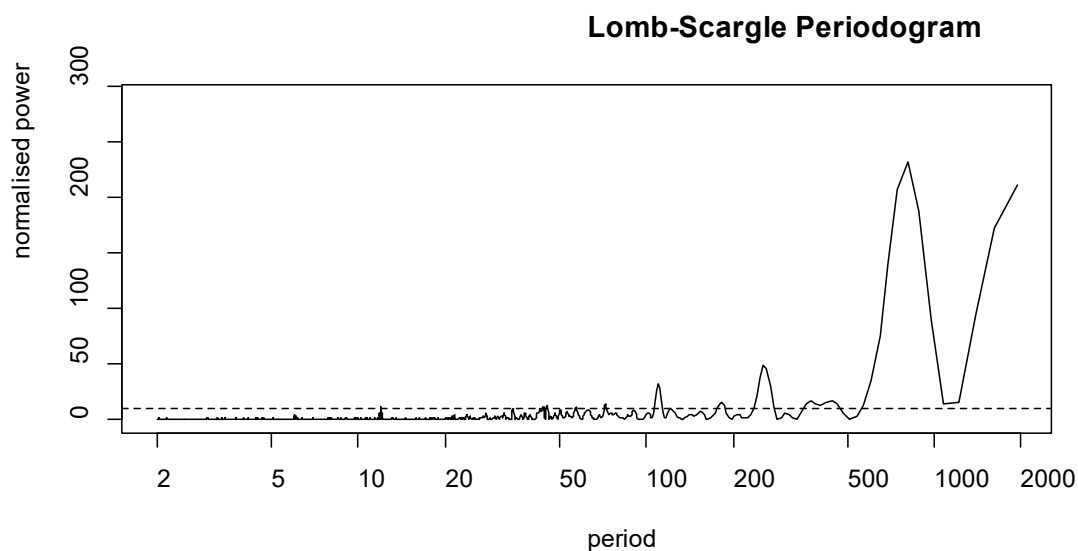
Aplicando o método de Lomb-Scargle na série de anomalias mensais da temperatura global, destendenciada (removidas as tendências) pelo ajuste linear, obtêm-se os gráficos de densidade de energia espectral apresentado na **Figura 158**. Esse tipo de exibição – bastante

utilizada em diversos estudos climáticos, geológicos e astronômicos envolvendo fenômenos periódicos – não é uma forma que facilita a rápida interpretação visual. No eixo horizontal onde está apresentada a frequência ( $f$ ) e, para obter-se o valor dos períodos ( $P$ ) significativos (os maiores picos no gráfico), é necessário converter a escala para período. Para tanto, é sabido que a frequência é inversamente proporcional ao período, ou seja,  $f = 1/P$ . Disso, decorre que, quanto menores os valores de da frequência (à esquerda do gráfico), maiores são os valores dos respectivos períodos. Os períodos de interesse nas séries de temperatura aqui analisadas estão compreendidos entre  $0,0 < f < 0,2$  (ou  $80 < P^{212} < 5$ ). É conveniente, portanto, converter os gráficos para período, de forma que seja dada ênfase aos maiores períodos. Após a conversão dos gráficos com escala em frequência para escala em período, foram obtidos os gráficos que estão mostrados na **Figura 159** e **Figura 160**.



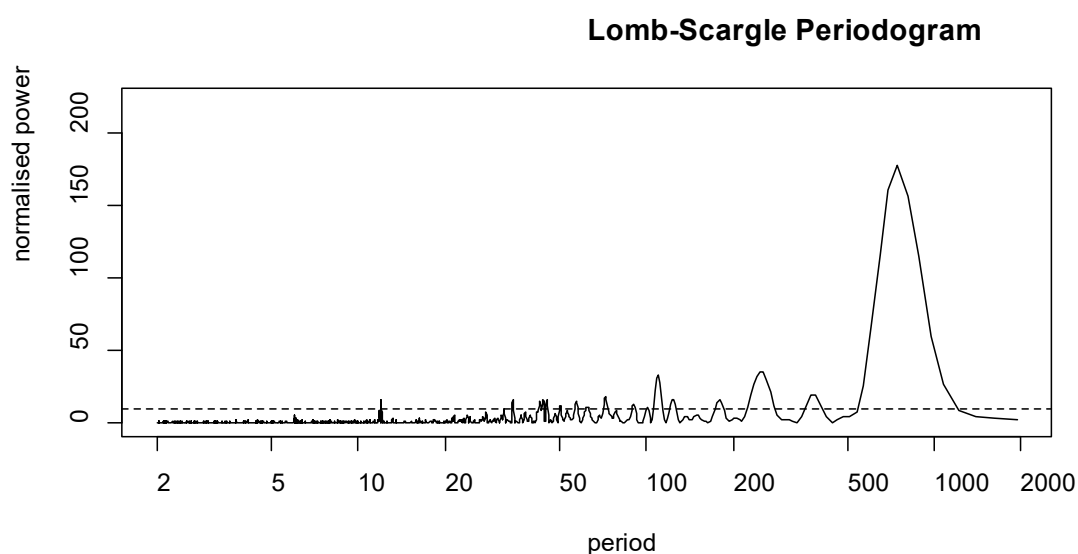
**Figura 158** – Densidade espectral de energia (periodograma com escala horizontal em frequência) conforme método de Lomb-Scargle, aplicado à série de anomalias mensais da temperatura global, destendenciada pelo ajuste linear. Linha pontilhada horizontal indica nível de 90% de significância (ou seja, picos acima desse valor são significativos). No caso, picos de interesse estão localizados nas frequências 0,11; 0,05 e 0,0167, com correspondentes períodos de 9, 20 e 60 anos. Fonte: elaborado no *RStudio* a partir dos dados da Figura 151.

<sup>212</sup> Segundo o teorema de Nyquist, o ciclo de maior período observável em uma série corresponde à metade do tamanho da série, ou seja, 2010 – 1850 = 160 anos, ou seja, metade desse valor, 80 anos, corresponde ao período do maior ciclo possível de ser identificado.



**Figura 159** – Densidade espectral de energia [periodograma com escala horizontal em período (meses)] conforme método de Lomb-Scargle, aplicado à série de anomalias mensais da temperatura global, destendenciada pelo ajuste linear. Linha pontilhada horizontal indica nível de 90% de significância. Nota-se picos significativos aproximadamente em 720 meses (60 anos), 240 meses (20 anos) e 110 meses (9 anos), além de uma aparente metade de um ciclo com pico próximo de 2000 meses (166 anos). Fonte: elaborado no *RStudio* a partir dos dados da Figura 151.

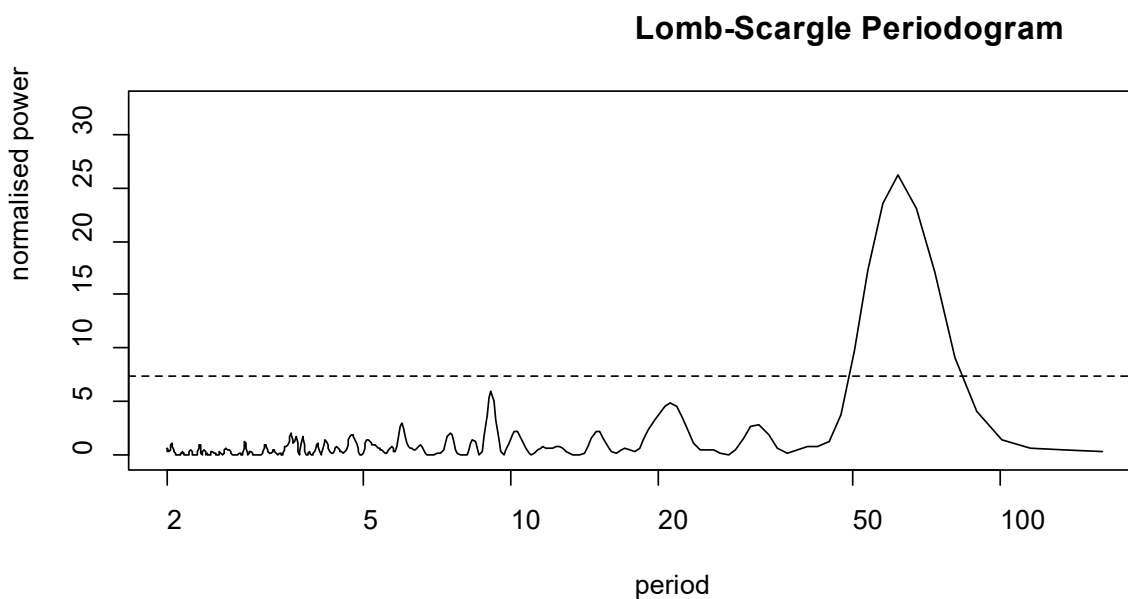
Os procedimentos de Lomb-Scargle são replicados para o caso da série de anomalias mensais da temperatura global destendenciada pelo ajuste polinomial, resultando no gráfico da **Figura 160**, de densidade de energia espectral, com escala em períodos. Omitiu-se o gráfico do periodograma com escala em frequência pois visualmente ele é indistinguível do gráfico obtido após a destendencição pelo ajuste linear.



**Figura 160** – Densidade espectral de energia [periodograma com escala horizontal em período (meses)] conforme método de Lomb-Scargle, aplicado à série de anomalias mensais da temperatura global, destendenciada pelo ajuste polinomial. Linha pontilhada horizontal indica nível de 90% de significância. Nota-se picos significativos aproximadamente em 720 meses (60 anos), 240 meses (20 anos) e 110 meses (9 anos). Fonte: elaborado no *RStudio* a partir dos dados da Figura 155.

Quando se compara os resultados da **Figura 159** com a **Figura 160**, nota-se que a diferença marcante é a presença de uma aparente metade de um ciclo com pico próximo de 2000 meses (166 anos) na primeira figura. Esse valor corresponde ao artifício de um ciclo com período inexistente na série de temperatura, pois o limite de Nyquist impõe que o maior período identificável é de 80 anos<sup>213</sup>. Portanto, fica demonstrado que o ajuste linear para subsequente remoção de sua tendência correspondente não oferece um resultado plenamente satisfatório. Apesar de ter corretamente identificado os períodos significativos de 9, 20 e 60 anos, o periodograma resultante da destendencição linear apresentou um pseudociclo com período de 166 anos.

Agora, aplicando-se o método de método de Lomb-Scargle na série de anomalias anuais da temperatura global, destendenciada pelo ajuste polinomial, resulta-se na **Figura 161**. A diferença entre esse gráfico com o gráfico obtido da série de anomalias mensais é que o nível de confiança de 90% somente implicou como significativo o pico de 60 anos. Em outras palavras, utilizar dados anuais acaba removendo periodicidades importantes que somente são identificadas a partir da análise dos dados mensais.



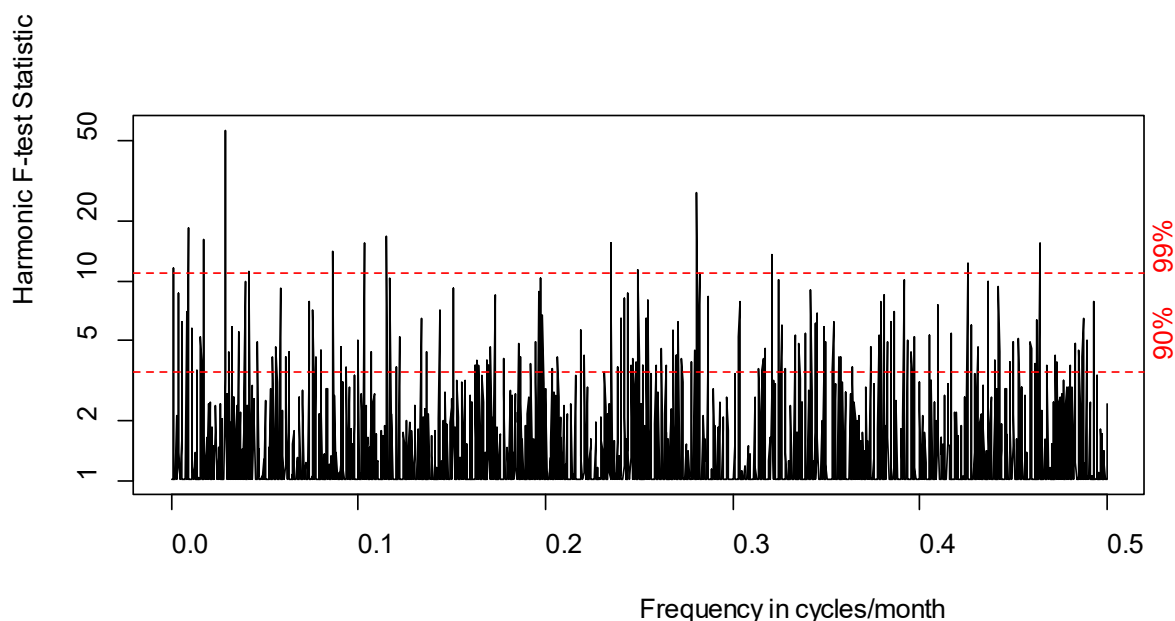
**Figura 161** – Densidade espectral de energia [periodograma com escala horizontal em período (anos)] conforme método de Lomb-Scargle, aplicado à série de anomalias anuais da temperatura global, destendenciada pelo ajuste polinomial. Linha pontilhada horizontal indica nível de 90% de significância. Nota-se pico significativo em aproximadamente 60 anos. Fonte: elaborado no *RStudio* a partir dos dados da Figura 156.

<sup>213</sup> Conforme explicado na nota de rodapé nº 212.

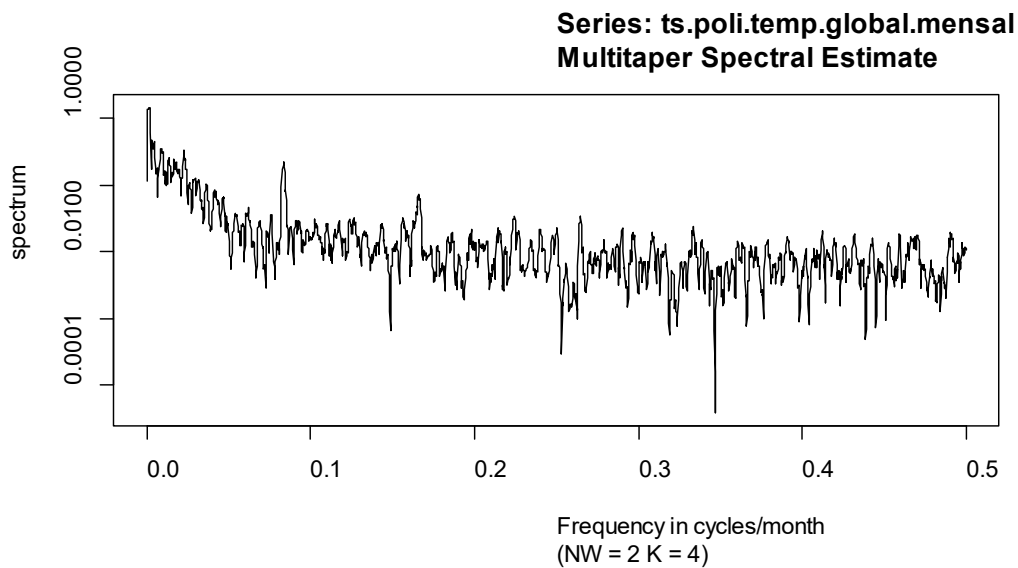
Diante das análises conduzidas até então, conclui-se que, para aplicação de técnicas de análise espectral nas séries em questão, o ideal é a utilização de série de dados com resolução mensal, destendenciada após ajuste polinomial, associada à apresentação do resultado do periodograma com escala horizontal em períodos, quando possível.

### 5.5.2.2. Periodograma – Método Multi Taper (MTM)

A aplicação do Método Multi Taper (MTM) na série de anomalias mensais da temperatura global, destendenciada pelo ajuste polinomial, permitiu a geração de dois formatos de gráficos de densidade de energia espectral, conforme apresentados na **Figura 162** e **Figura 163**. Na primeira figura, o método exibiu os níveis de significância de 90 e 99%, enquanto que no segundo gráfico não apresentou. O gráfico gerado pelo pacote do *R* contendo o MTM também não possui a opção de exibição da escala horizontal em períodos. Ambos formatos de gráficos não permitiram leituras nitidamente compreensíveis. Logo, as limitações do pacote do *R* utilizado foram contornadas posteriormente.



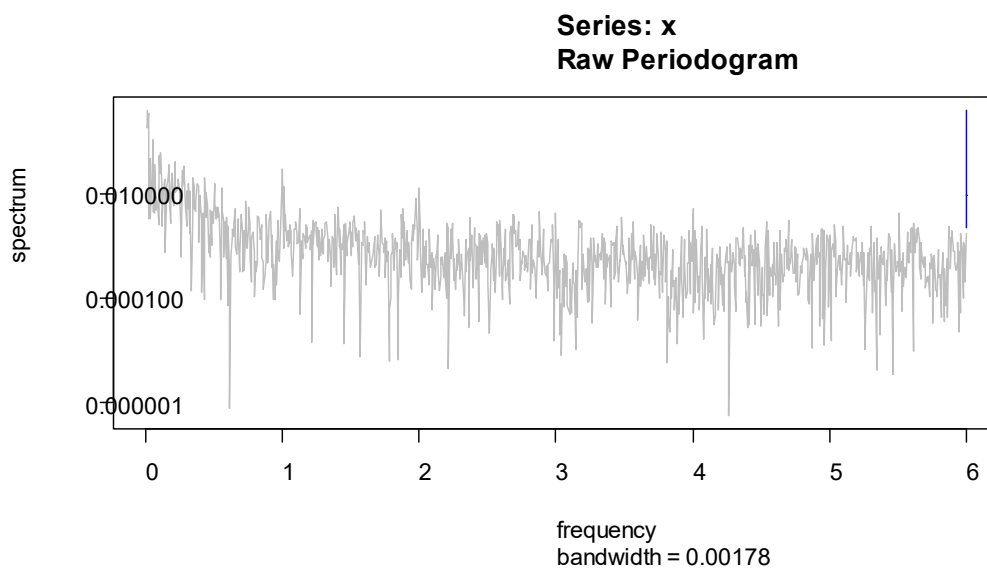
**Figura 162** – Densidade espectral de energia (periodograma com escala horizontal em frequência, exibição padrão) conforme o Método Multi Taper, aplicado à série de anomalias mensais da temperatura global, destendenciada pelo ajuste polinomial. Linhas pontilhadas horizontais indicam níveis confiança de 90% e 99%. Fonte: elaborado no *RStudio* a partir dos dados da Figura 155.



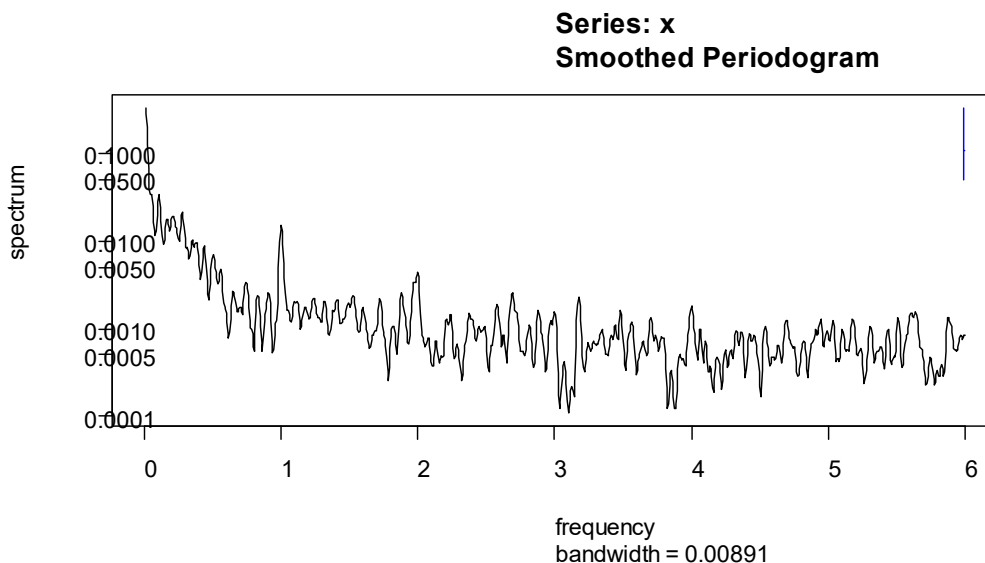
**Figura 163** – Densidade espectral de energia (periodograma com escala horizontal em frequência, exibição conforme opção *jackknife*) conforme o Método Multi Taper, aplicado à série de anomalias mensais da temperatura global, destendenciada pelo ajuste polinomial. Fonte: elaborado no *RStudio* a partir dos dados da Figura 155.

### 5.5.2.3. Periodograma – Método da Máxima Entropia (MEM)

Aplicou-se o Método da Máxima Entropia (MEM) à série de anomalias mensais da temperatura global, destendenciada pelo ajuste polinomial, gerando dois formatos de gráficos de densidade de energia espectral, conforme apresentados na **Figura 164** e **Figura 165**. Analogamente ao caso do MTM, as limitações da escala e do nível de confiança do pacote do *R* utilizado no MEM são contornadas adiante.



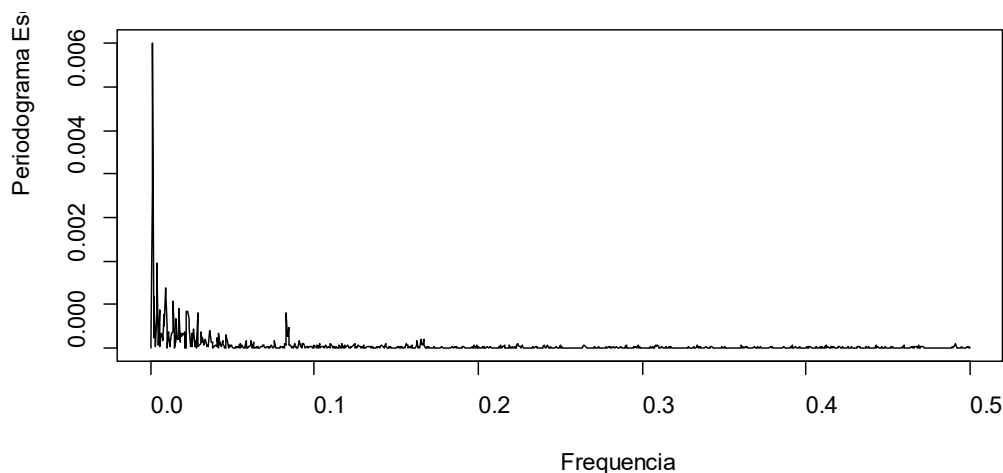
**Figura 164** – Densidade espectral de energia (periodograma com escala horizontal em frequência, exibição padrão) conforme o Método da Máxima Entropia, aplicado à série de anomalias mensais da temperatura global, destendenciada pelo ajuste polinomial. Fonte: elaborado no *RStudio* a partir dos dados da Figura 155.



**Figura 165** – Densidade espectral de energia (periodograma com escala horizontal em frequência, exibição com linha suavizada) conforme o Método da Máxima Entropia, aplicado à série de anomalias mensais da temperatura global, destendenciada pelo ajuste polinomial. Fonte: elaborado no *RStudio* a partir dos dados da Figura 155.

#### 5.5.2.4. Periodograma – Transformada Rápida de Fourier (FFT)

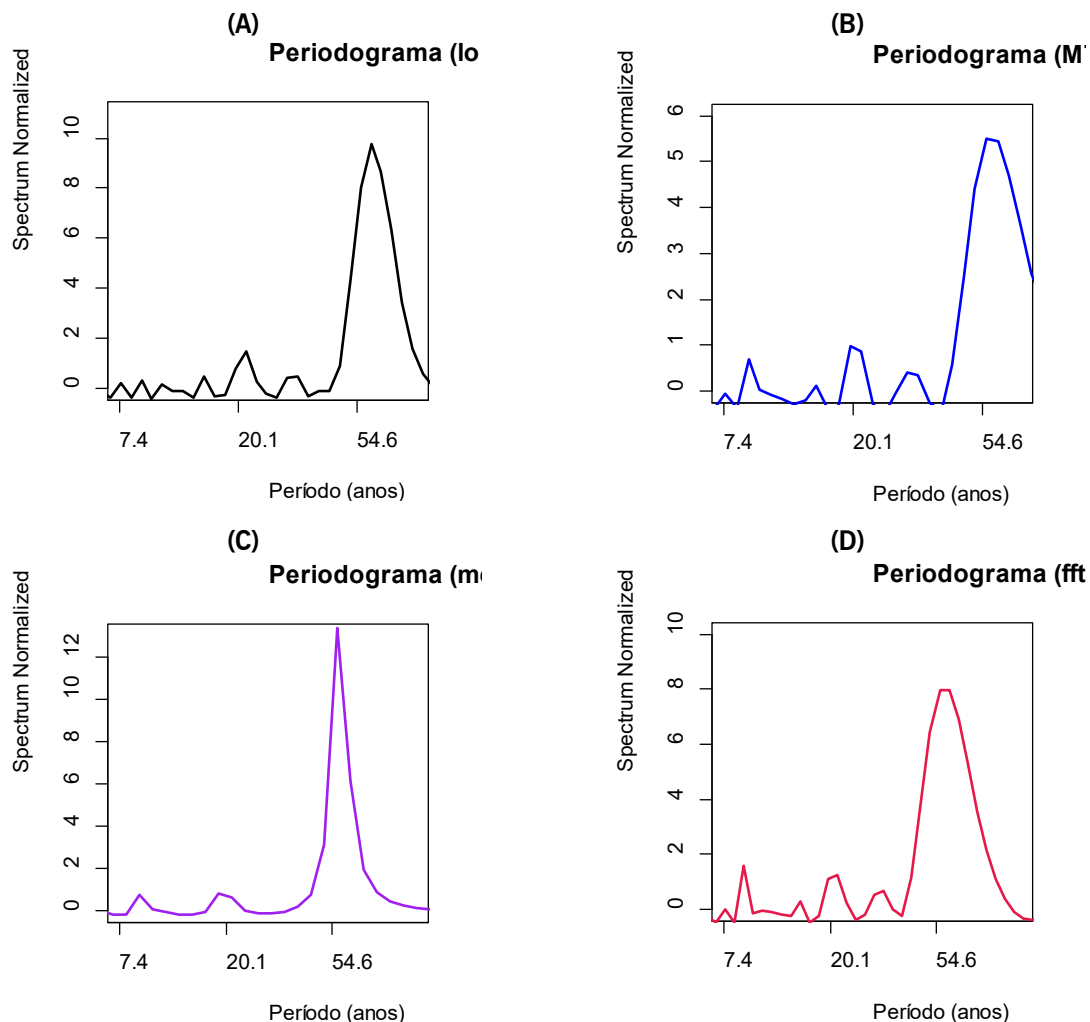
A aplicação da Transformada Rápida de Fourier (FFT) na série de anomalias mensais da temperatura global, destendenciada pelo ajuste polinomial, gerou o gráfico contido na **Figura 166**. Nota-se semelhança desse gráfico com o periodograma de Lomb-Scargle (**Figura 158**, p. 330). Assim como nos casos do MTM e do MEM, adiante são contornadas as limitações da escala e do nível de confiança do pacote do *R* utilizado na FFT.



**Figura 166** – Densidade espectral de energia (periodograma com escala horizontal em frequência, exibição padrão) conforme a Transformada Rápida de Fourier, aplicada à série de anomalias mensais da temperatura global, destendenciada pelo ajuste polinomial. Fonte: elaborado no *RStudio* a partir dos dados da Figura 155.

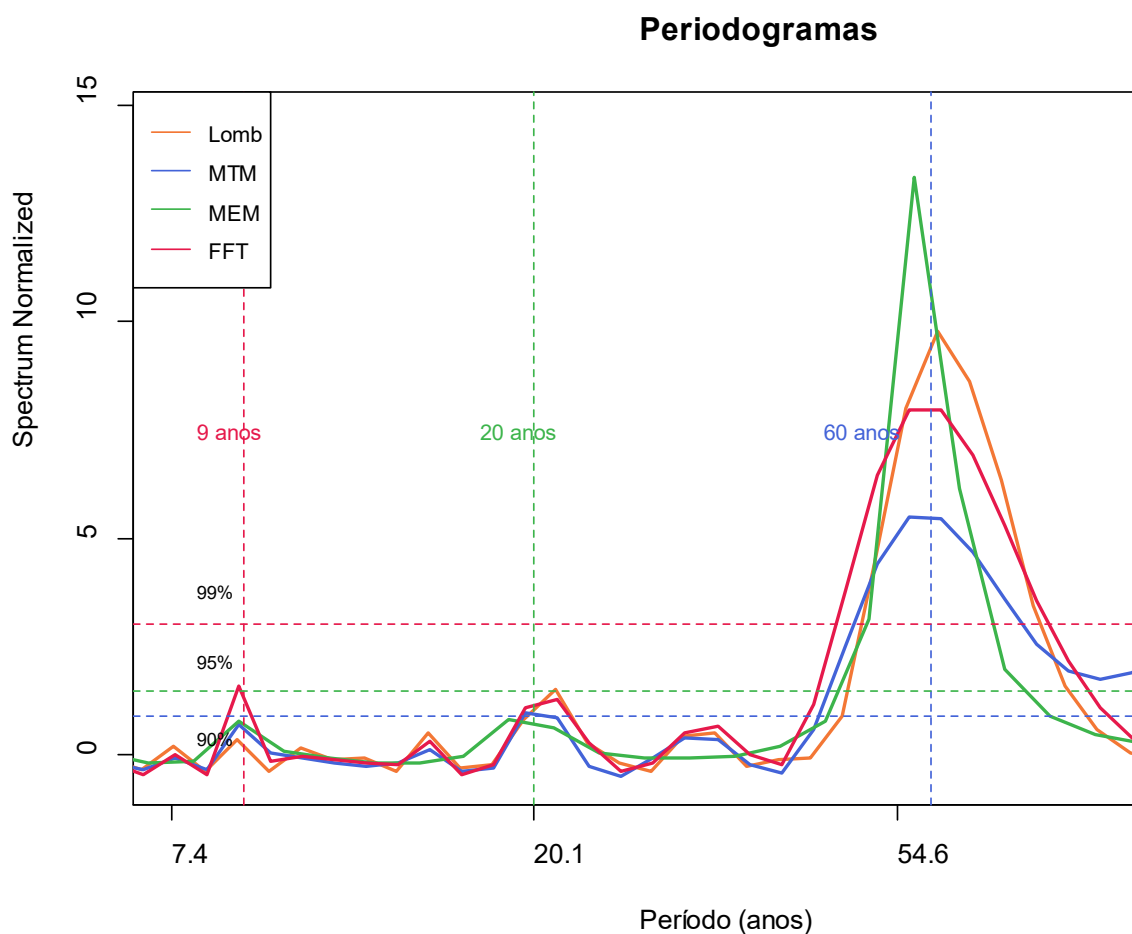
### 5.5.2.5. Síntese dos periodogramas

Para aprimorar a leitura e constatação dos períodos significativos da série analisada, os periodogramas obtidos anteriormente foram ajustados. Assim, suas escalas horizontais foram convertidas de frequência para períodos, bem como foi realizado recorte para realçar os períodos compreendidos entre 6 a 100 anos. As escalas verticais foram normalizadas, de modo a permitir a comparação entre todos periodogramas. Por fim, também foram calculados e inseridos os níveis de confiança de 90, 95 e 99%. Uma primeira exibição dos resultados individuais é apresentada na **Figura 167**, sendo os gráficos **(A)**, **(B)**, **(C)** e **(D)** respectivamente associados aos periodogramas de Lomb-Scargle, MTM, MEM e FFT. Por fim, na **Figura 168** estão todos os periodogramas aglutinados em um único gráfico, com a complementação dos níveis de confiança.



**Figura 167** – Densidades espectrais de energia (periodogramas com escalas horizontais em período), conforme diferentes métodos aplicados à série de anomalias mensais da temperatura global, destendenciada pelo ajuste polinomial. Métodos: **(A)** Lomb-Scargle; **(B)** MTM; **(C)** MEM; **(D)** FFT. Fonte: elaborado no *RStudio* a partir dos dados da Figura 159, Figura 163, Figura 164 e Figura 166.





**Figura 168** – Composição de densidades espectrais de energia (periodogramas com escalas horizontais em período), conforme diferentes métodos (Lomb-Scargle, linha laranja; MTM, linha azul; MEM, linha verde; FFT, linha vermelha) aplicados à série de anomalias mensais da temperatura global, destendenciada pelo ajuste polinomial. Linhas horizontais tracejadas indicam os níveis de confiança de 90% (linha tracejada azul), 95% (linha tracejada verde) e 99% (linha tracejada vermelha). Linhas verticais tracejadas (vermelha, verde e azul) indicam as periodicidades significativas de 9, 20 e 60 anos, respectivamente. Fonte: elaborado no *RStudio* a partir dos dados da Figura 167.

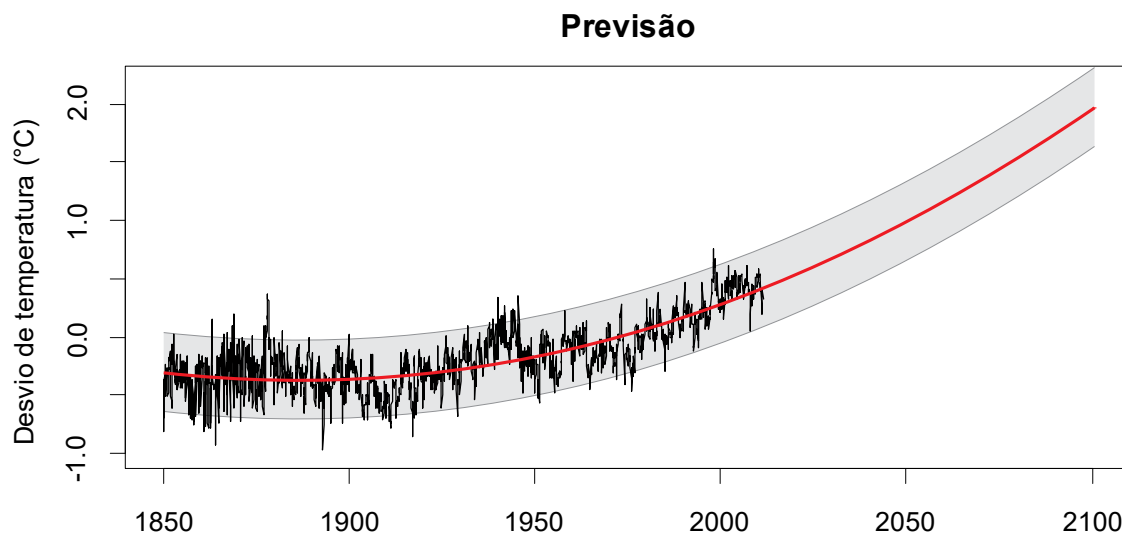
Observando o resultado final contido na **Figura 168**, percebe-se que todos os métodos são visualmente compatíveis: todos periodogramas indicaram satisfatoriamente bem os três principais ciclos contidos nas temperaturas globais da série HadCRUT. O ciclo climático de 9 anos, associado à oscilação de origem astronômica-lunar, atingiu o nível de confiança de 95% pelo método FFT, faltando pouco para atingir o nível de confiança de 90% pelos demais métodos. Quanto ao ciclo climático de 20 anos, relacionado ao ciclo astronômico-solar de Hale, o periodograma de Lomb atingiu o nível de confiança de 95%, o periodograma da FFT atingiu 95%, o periodograma do MTM atingiu 90% e o periodograma de MEM quase atingiu 90% de nível de confiança. Por fim, o ciclo climático de 60 anos, relativo às oscilações atmosférica-oceânicas (em especial a ODP e a OMA), foi fortemente identificado por todas as técnicas

espectrais utilizadas, com todos os periodogramas atingido valores acima de 99% do nível de confiança. De fato, o ciclo de 60 anos é visualmente bastante evidente na série global de temperatura do ar na superfície. Conclui-se que os métodos de análise espectral empregados até o momento possuem resultados compatíveis com as análises desenvolvidas por Scafetta<sup>214</sup>.

### 5.5.3. ETAPA 3 – Análise Preditiva: Modelagem e Projeções

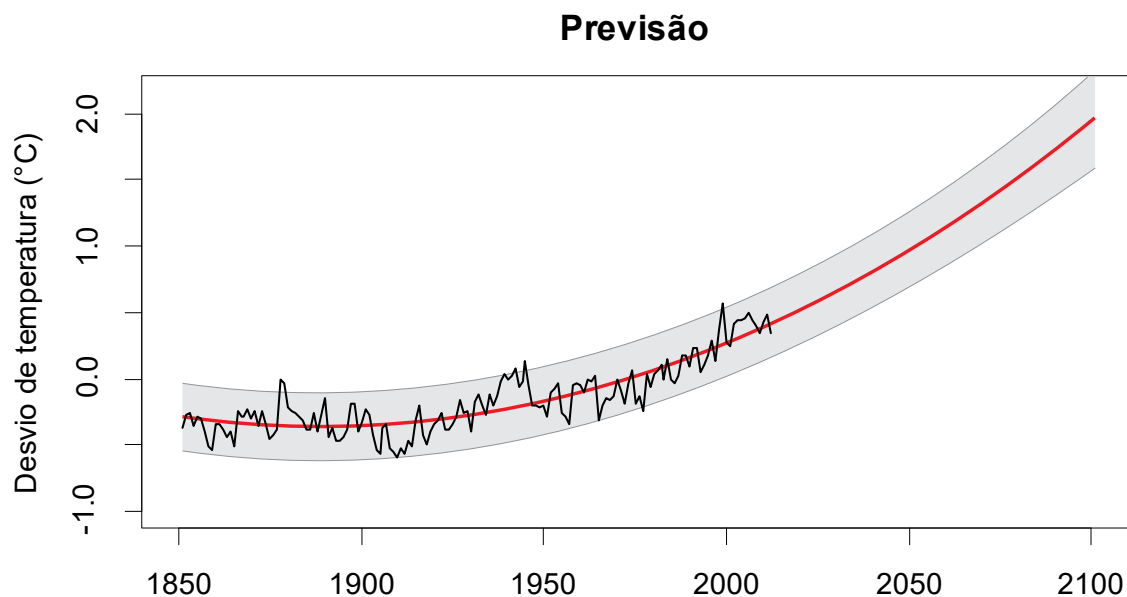
A partir das análises espectrais mostradas nas seções anteriores, a identificação dos principais componentes periódicos significativos favorece a elaboração de modelos para as séries de temperatura em estudo. Uma vez ajustados os modelos aos dados observados, conseqüentemente permite-se elaborar previsões das temperaturas para anos seguintes. Assim, utilizou-se os dados de temperatura do período de 1850 à 2011 para o “treino” (calibragem) do modelo e, em seguida, foram obtidas as projeções de temperatura previsões até 2100.

A primeira projeção foi elaborada com base em modelo fundamentado nos ajustes polinomiais quadráticos já apresentados na **Figura 153** e na **Figura 154**. Na sequência, as correspondentes **Figura 169** e **Figura 170** mostram as projeções utilizando apenas esse ajuste polinomial, tanto para a série com dados mensais quanto para a série com dados anuais, respectivamente.



**Figura 169** – Projeção até 2100 (linha vermelha) da série das anomalias mensais da temperatura global (linha preta) na superfície, segundo modelo de ajuste polinomial (quadrático). A área cinza representa o intervalo de 90% de confiança. Fonte: elaborado no *RStudio* a partir dos dados da Figura 153.

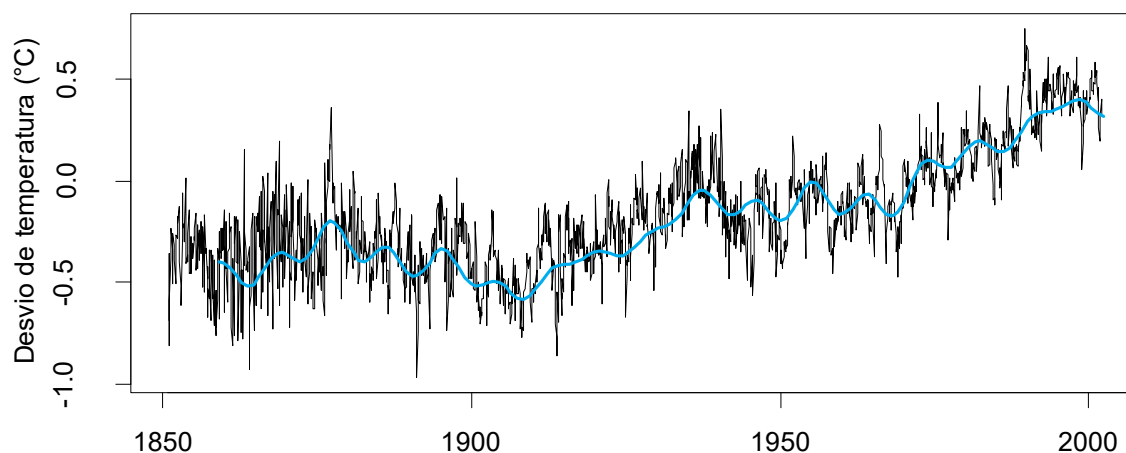
<sup>214</sup> Conforme trabalhos selecionados e indicados no CAPÍTULO 3, item “3.2.4.1. Trabalhos de Nicola Scafetta” (p. 285).



**Figura 170** – Projeção até 2100 (linha vermelha) da série das anomalias anuais da temperatura global (linha preta) na superfície, segundo modelo de ajuste polinomial (quadrático). A área cinza representa o intervalo de 90% de confiança. Fonte: elaborado no *RStudio* a partir dos dados da Figura 154.

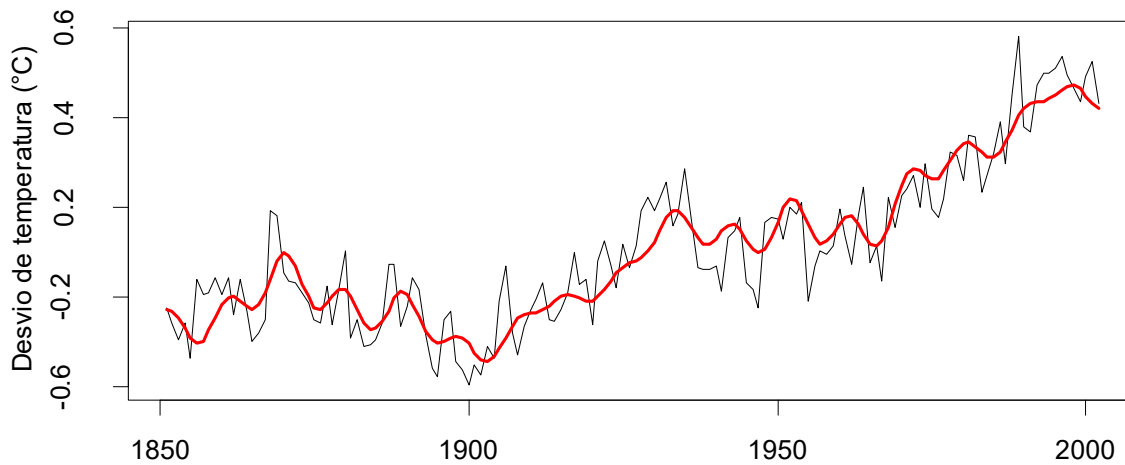
Utilizando os períodos dos ciclos significativos identificados na seção anterior e associando-os com o modelo de ajuste quadrático, foi elaborado um segundo modelo de ajuste aos dados mensais (**Figura 147**) e anuais (**Figura 148**), cujas projeções decorrentes podem ser observadas na **Figura 171** e **Figura 172**. Nota-se que os modelos estão visualmente bem ajustados aos dados observados.

### Blend Série Mensal (Série Natural + Polinomial)



**Figura 171** – Modelo de ajuste (linha azul claro) à série das anomalias mensais da temperatura global na superfície, considerando a associação entre componentes periódicos naturais e componente polinomial (quadrático). Fonte: elaborado no *RStudio* a partir dos dados da Figura 147.

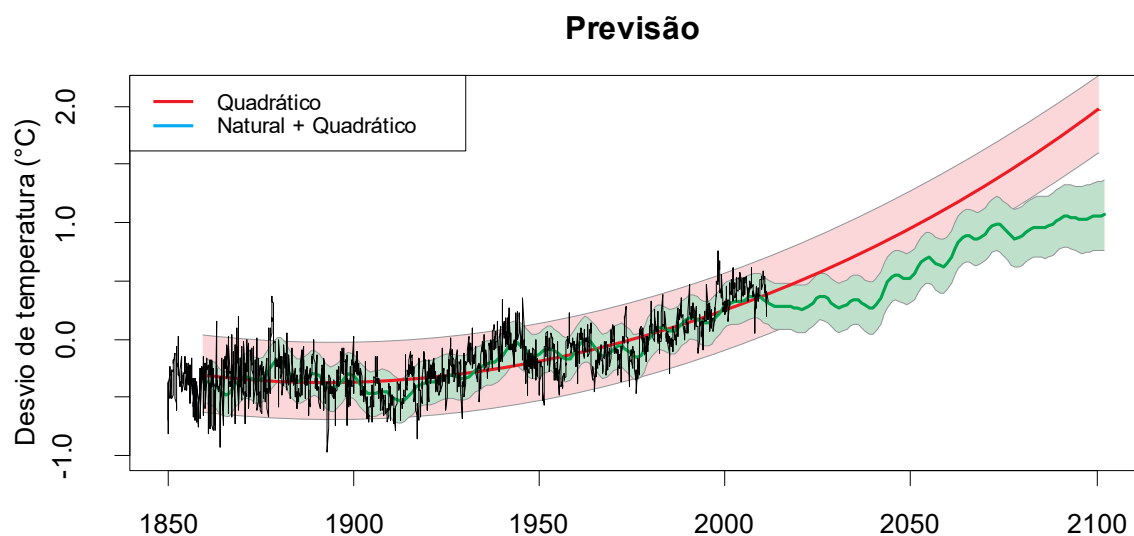
### Blend Série Anual (Série Natural + Polinomial)



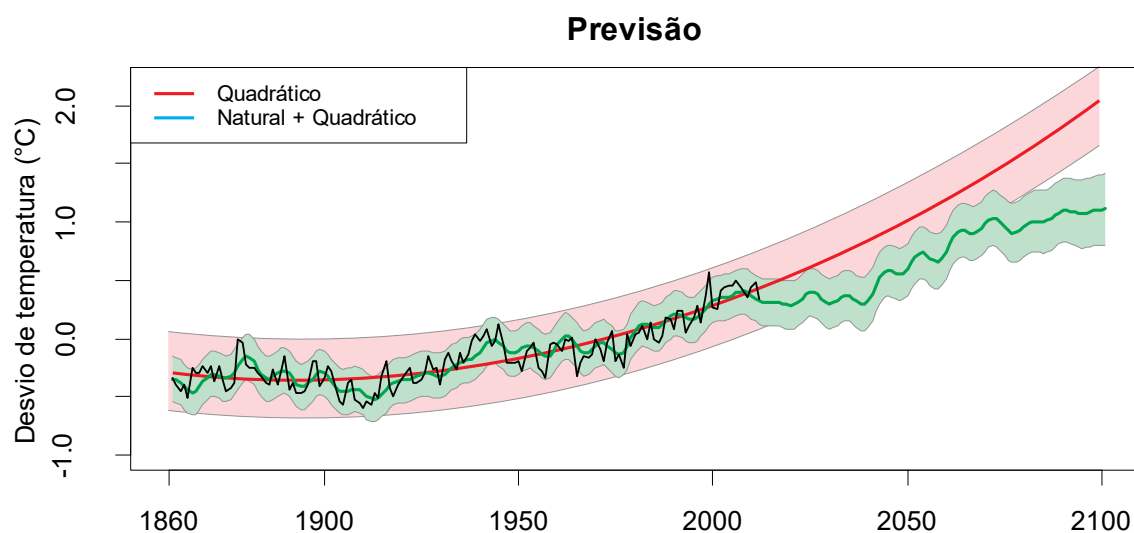
**Figura 172** – Modelo de ajuste (linha vermelha) à série das anomalias anuais da temperatura global na superfície, considerando a associação entre componentes periódicos naturais e componente polinomial (quadrático). Fonte: elaborado no *RStudio* a partir dos dados da Figura 148.

Considerando um nível adequado de ajuste dos modelos, realizou-se projeções dos valores de temperatura dos modelos fundamentados na conjunção dos ciclos naturais identificados (com 9, 20 e 60 anos) com o ajuste polinomial. Os resultados das previsões são mostrados na **Figura 173** (série mensal) e **Figura 174** (série anual).

As projeções combinadas (componentes oscilatórios naturais + componentes quadráticos) aqui elaboradas para a série global HadCRUT3 são condizentes com o resultado no modelo de Scafetta (2012b), a exemplo da **Figura 123-(B)** [p. 257]: ambos gráficos indicam uma tendência de pausa na temperatura até 2030-2040, a qual começa a aumentar depois, em diferentes taxas, até 2100, quando podem atingir aproximadamente um desvio de +1,0 °C.



**Figura 173** – Projeções, até 2100, das anomalias mensais da temperatura global na superfície, segundo modelo de ajuste polinomial (quadrático, linha vermelha); e modelo de ciclos naturais associados ao modelo polinomial (linha verde). As áreas vermelho claro e verde claro indicam o intervalo de 90% de confiança das respectivas projeções. Fonte: elaborado no *RStudio* a partir dos dados da Figura 171.



**Figura 174** – Projeções, até 2100, das anomalias anuais da temperatura global na superfície, segundo modelo de ajuste polinomial (quadrático, linha vermelha); e modelo de ciclos naturais associados ao modelo polinomial (linha verde). As áreas vermelho claro e verde claro indicam o intervalo de 90% de confiança das respectivas projeções. Fonte: elaborado no *RStudio* a partir dos dados da Figura 172.

Finalmente testados e reproduzidos, foi atingido o objetivo de calibração e validação das técnicas, modelagens e projeções, viabilizando, agora, aplicar tais análises harmônicas, modelos e previsões no estudo da série de temperatura superficial do ar no Brasil.

## 5.6. ANÁLISE DA TEMPERATURA DO AR NO BRASIL

Após a execução das etapas ligadas à série de temperatura global, as análises foram refeitas para a série da temperatura superficial do ar no Brasil. Visando evitar repetições e redundâncias de explicações sobre todos os procedimentos adotados, algumas das etapas são omitidas. No entanto, no código de programação<sup>215</sup> em *R* constam todas as instruções que são análogas à análise conduzida no caso das temperaturas globais.

### 5.6.1. ETAPA 1 – Análise Descritiva e Remoção de Tendência

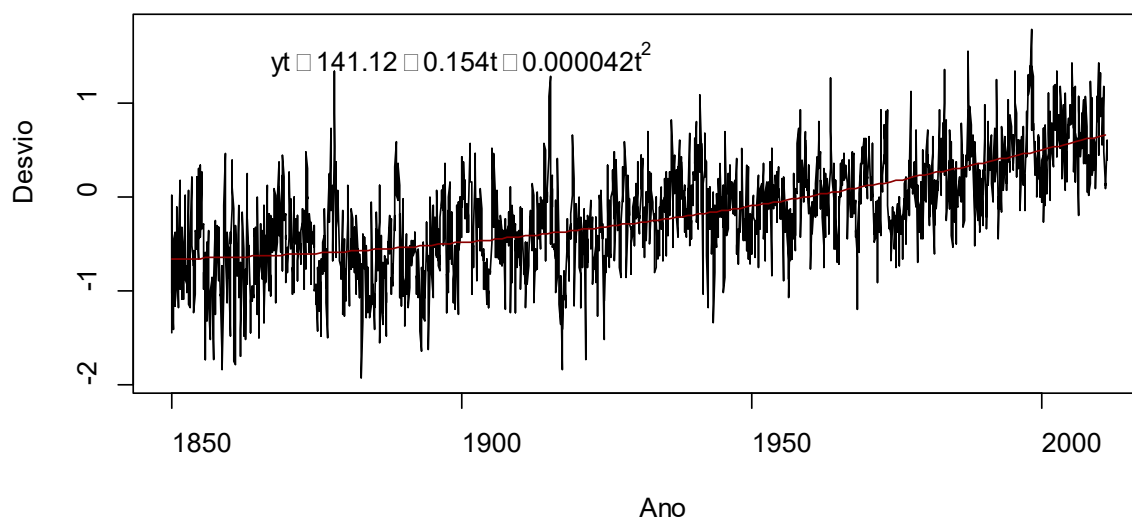
Após carregar e converter no *RStudio* os dados de temperatura do ar no Brasil conforme a série BEST<sup>216</sup>, elaborou-se gráficos contendo os valores das anomalias de temperatura, na resolução mensal (**Figura 175**) e anual (**Figura 176**). Nesses gráficos também foram plotadas as curvas de ajustes polinomiais (quadráticos). De modo geral, observa um incremento das temperatura desde 1850. Todavia, diferentemente do caso das temperaturas globais, a série de temperatura do ar no Brasil não evidencia visualmente ciclos indicadores de periodicidades. Com o uso das ferramentas de análise espectral adiante, será percebido o poder dessas técnicas de revelarem ciclos aparentemente ocultos.

---

<sup>215</sup> Os códigos de programação em linguagem *R* que foram utilizados no programa *RStudio* para análise da série de temperatura do Brasil (BEST) estão apresentados no APÊNDICE H, item “H.2.2. Códigos de análise da temperatura – BRASIL” (p. 447).

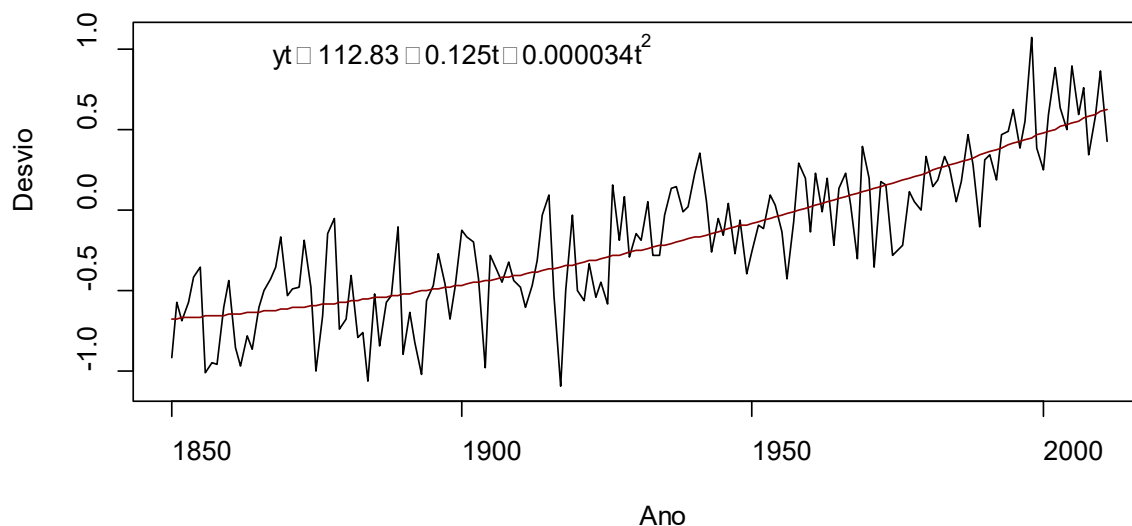
<sup>216</sup> Uma tabela com os dados mensais da série BEST consta no APÊNDICE G, item “G.2. Temperatura superficial do ar global – BEST” (p. 423).

### Serie Mensal Apos Ajuste Polinomial



**Figura 175** – Anomalias mensais da temperatura superficial do ar no Brasil (linha preta), a partir da série BEST, de 1850 a 2011, com ajuste polinomial quadrático (linha vermelha). Fonte: elaborado no *RStudio*, com dados de Berkeley Earth (2017).

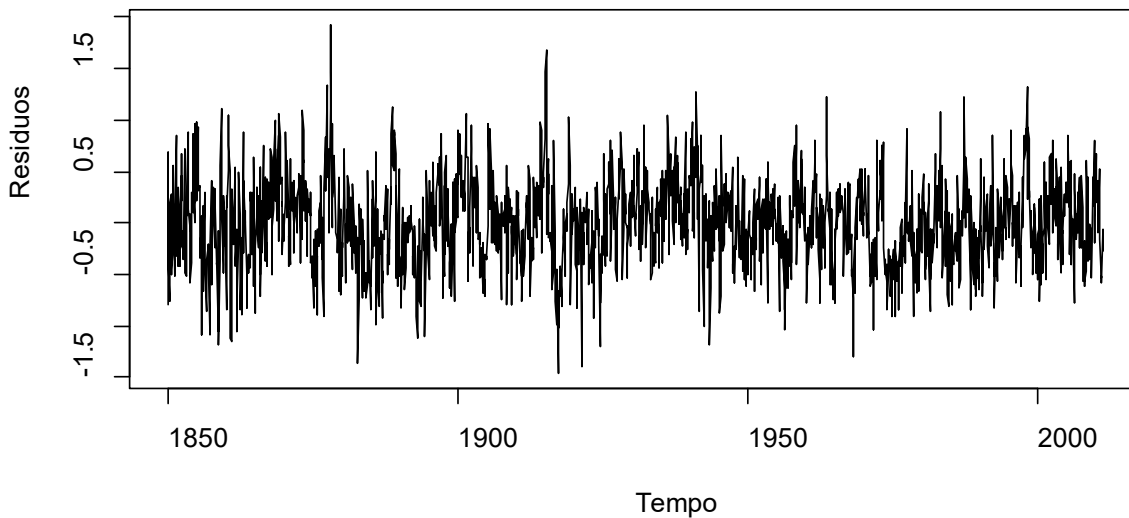
### Serie Anual Apos Ajuste Polinomial



**Figura 176** – Anomalias anuais da temperatura superficial do ar no Brasil (linha preta), a partir da série BEST, de 1850 a 2011, com ajuste polinomial quadrático (linha vermelha). Fonte: elaborado no *RStudio*, com dados de Berkeley Earth (2017).

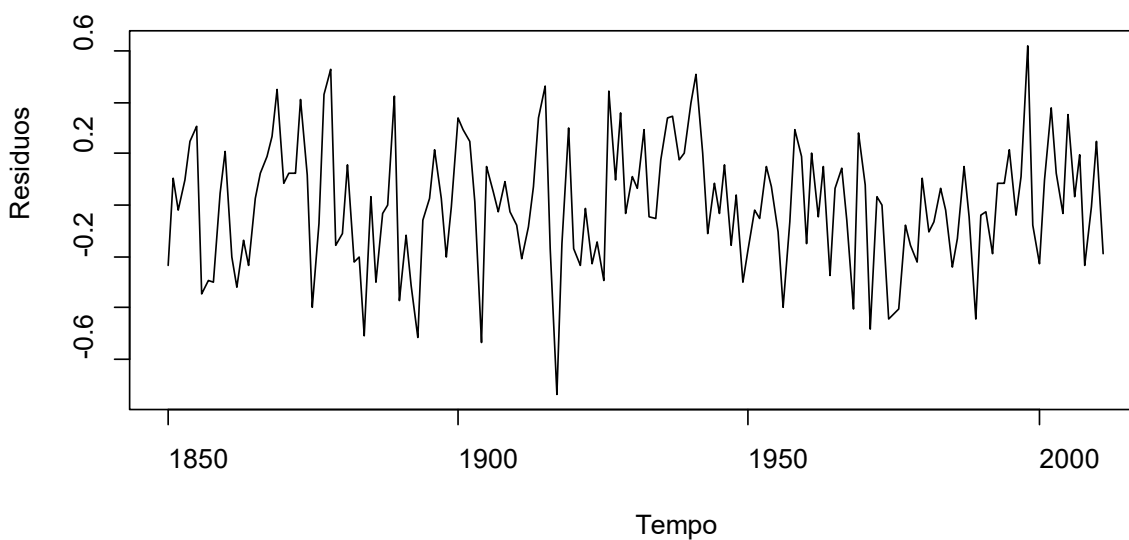
Após o ajuste polinomial quadrático aplicado às séries de dados mensais e anuais da temperatura no Brasil, realizou-se a remoção da tendência como etapa preparatória das análises espectrais. As séries destendenciadas são exibidas na **Figura 177** (dados mensais) e **Figura 178** (dados anuais).

#### Serie mensal sem tendencia usando



**Figura 177** – Resíduos da série das anomalias mensais da temperatura superficial no Brasil, após remoção da tendência polinomial (quadrática). Fonte: elaborado no *RStudio* a partir dos dados da Figura 175.

#### Serie anual sem tendencia usando p



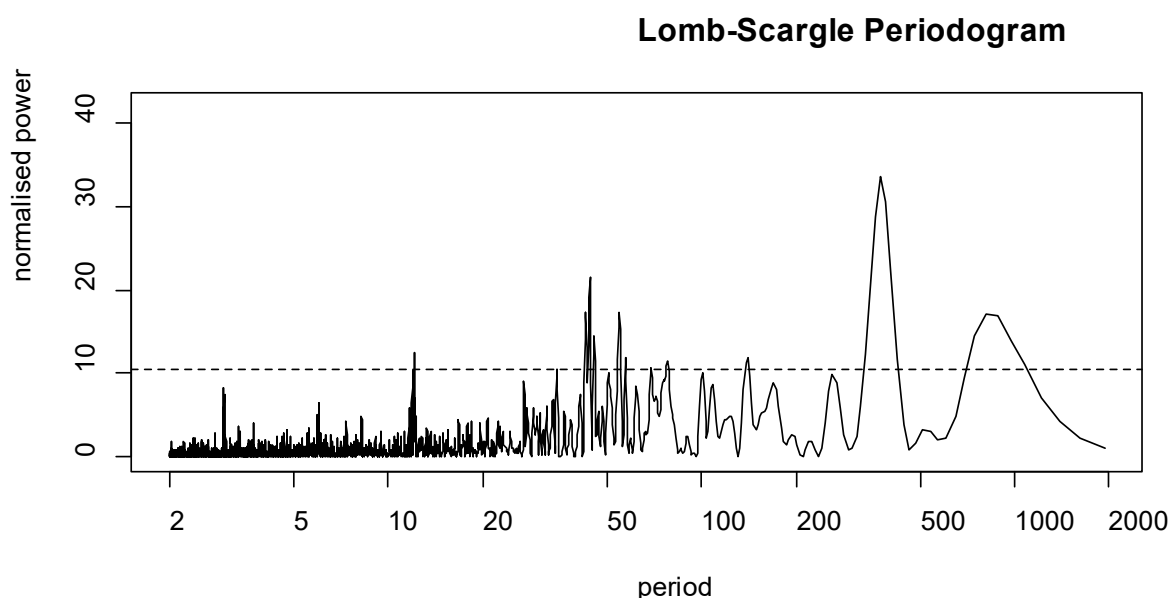
**Figura 178** – Resíduos da série das anomalias anuais da temperatura superficial no Brasil, após remoção da tendência polinomial (quadrática). Fonte: elaborado no *RStudio* a partir dos dados da Figura 176.



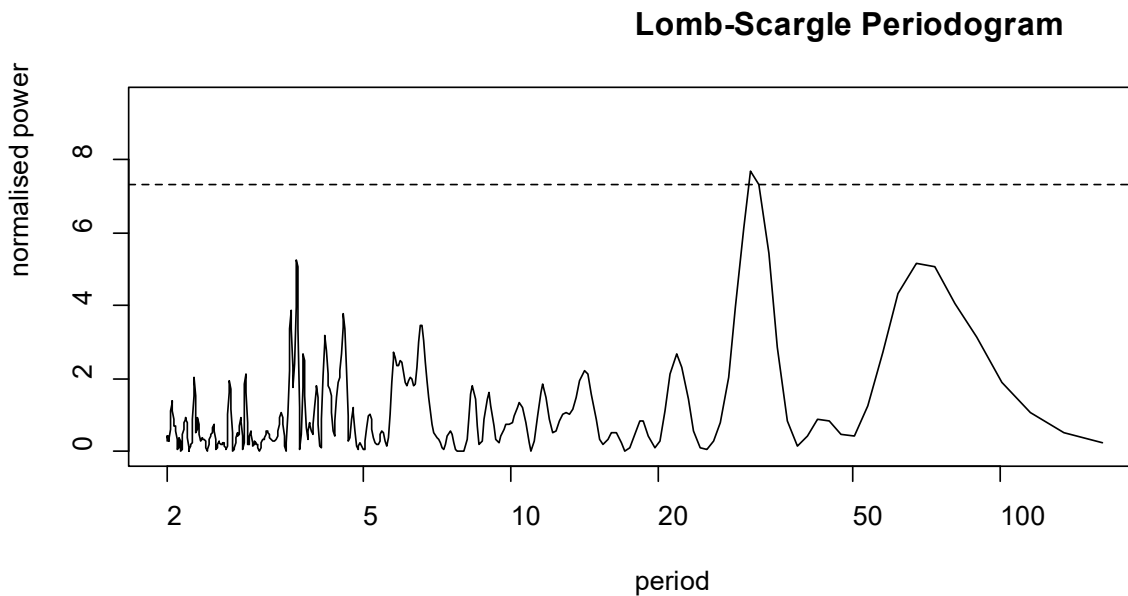
## 5.6.2. ETAPA 2 – Análises Espectrais

### 5.6.2.1. Periodograma – Método de Lomb-Scargle

Conforme visto na seção anterior, o método de Lomb-Scargle fornece um periodograma cujo formato favorece enxergar, de imediato, as possíveis periodicidades significativas nas séries temporais analisadas. Assim, com a escala horizontal já convertida em período, os gráficos da **Figura 179** e **Figura 180** exibem o resultado da análise espectral segundo o método de Lomb-Scargle. O periodograma de dados mensais identificou períodos significativos de 4, 33 e 82 anos; e o periodograma de dados anuais identificou como significativo somente o ciclo de período igual a 33 anos. A diferença entre os resultados gráficos da série de dados mensais com a série de dados anuais é decorrente da menor quantidade de observações dos dados anuais. Com curvas mais suavizadas da série de dados anuais, o periodograma aplicado a ela acaba não “enxergando” (identificando) certas frequências, o que altera o nível de confiança como um todo. Enfim, quanto menos dados existirem nas séries, menos informações espectrais são passíveis de serem extraídas. É por isso que as séries de dados mensais são preferencialmente utilizadas em boa parte das análises harmônicas.



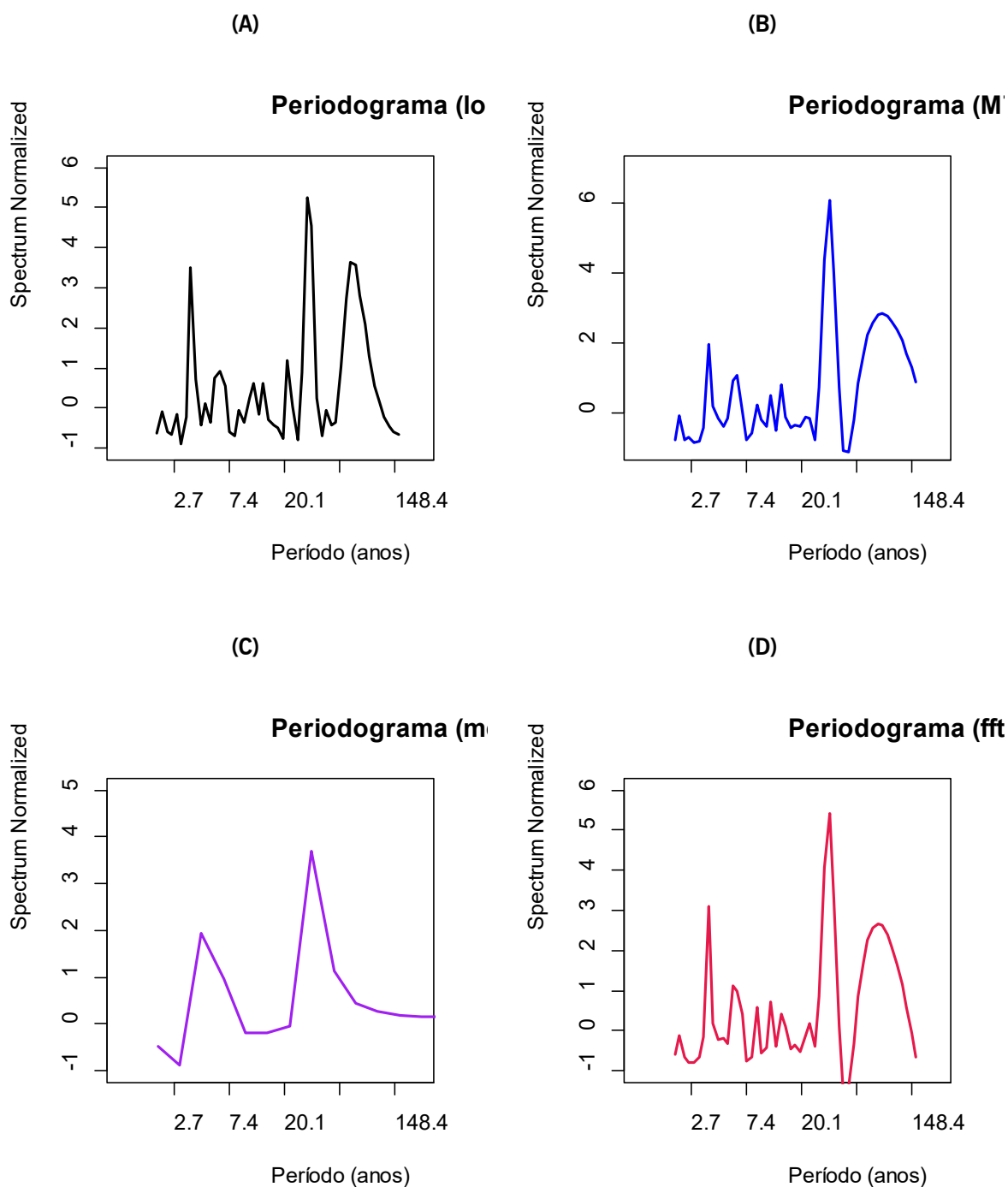
**Figura 179** – Densidade espectral de energia [periodograma com escala horizontal em período (meses)] conforme método de Lomb-Scargle, aplicado à série de anomalias mensais da temperatura no Brasil, destendenciada pelo ajuste polinomial. Linha pontilhada horizontal indica nível de 90% de significância. Nota-se picos significativos aproximadamente em 950 meses (82 anos), 400 meses (33 anos) e 48 meses (4 anos). Fonte: elaborado no *RStudio* a partir dos dados da Figura 177.



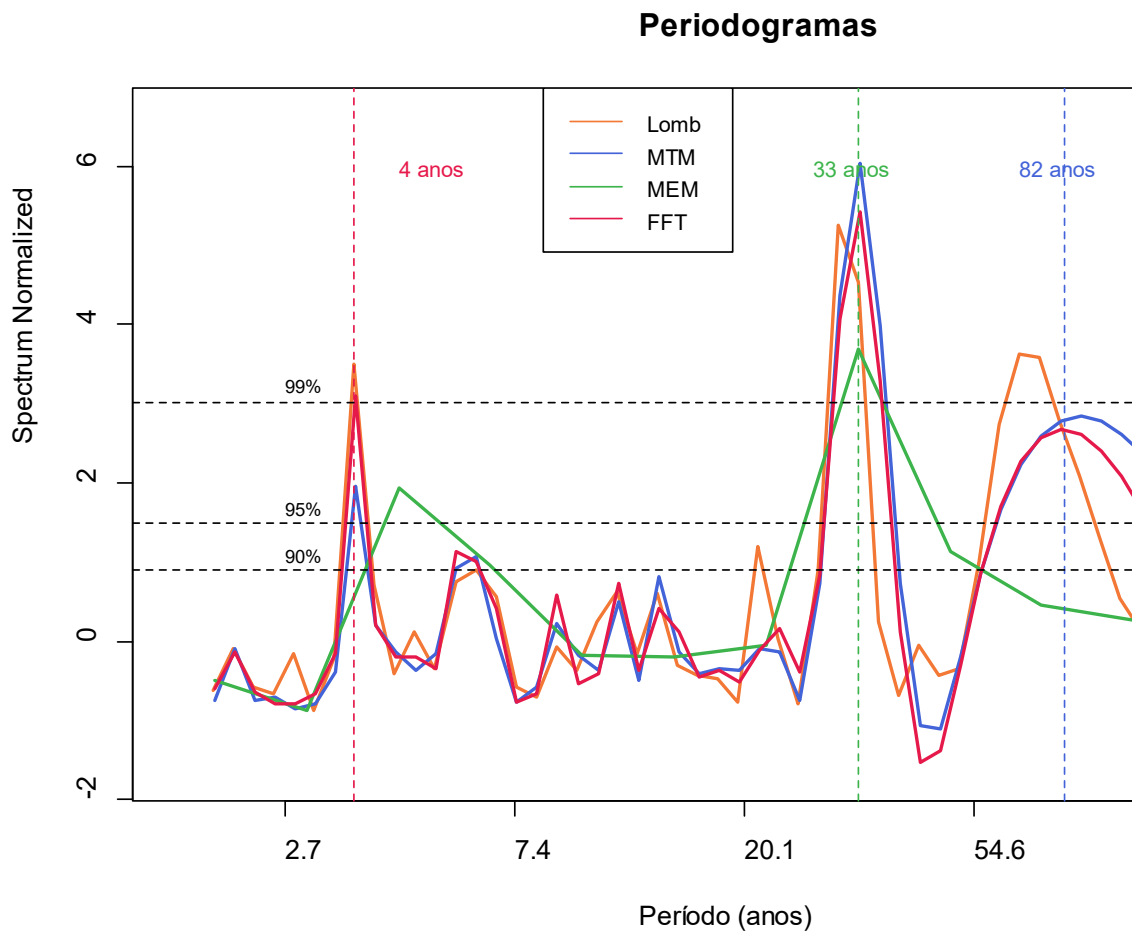
**Figura 180** – Densidade espectral de energia [periodograma com escala horizontal em período (anos)] conforme método de Lomb-Scargle, aplicado à série de anomalias anuais da temperatura no Brasil, destendenciada pelo ajuste polinomial. Linha pontilhada horizontal indica nível de 90% de significância. Nota-se pico significativo em aproximadamente 33 anos. Fonte: elaborado no *RStudio* a partir dos dados da Figura 178.

#### 5.6.2.2. Síntese dos periodogramas

Conforme abordado antes no caso da análise espectral das temperaturas globais, os periodogramas dos métodos MTM, MEM e FFT não apresentaram informações úteis em seus formatos originalmente criados no *RStudio*. Nesse sentido, os periodogramas foram ajustados: suas escalas horizontais foram convertidas de frequência para períodos; houve recorte para realçar os períodos compreendidos entre 2 a 100 anos; as escalas verticais foram normalizadas para permitir a comparação entre todos periodogramas; e foram calculados e inseridos os níveis de confiança de 90, 95 e 99%. Os periodogramas ajustados são apresentados individualmente na **Figura 180** e de forma unificada na **Figura 181**, na qual consta os níveis de confiança.



**Figura 181** – Densidades espectrais de energia (periodogramas com escalas horizontais em período), conforme diferentes métodos aplicados à série de anomalias mensais da temperatura no Brasil, destendenciada pelo ajuste polinomial. Métodos: **(A)** Lomb-Scargle; **(B)** MTM; **(C)** MEM; **(D)** FFT. Fonte: elaborado no *RStudio* a partir dos dados da Figura 177.



**Figura 182** – Composição de densidades espectrais de energia (periodogramas com escalas horizontais em período), conforme diferentes métodos (Lomb-Scargle, linha laranja; MTM, linha azul; MEM, linha verde; FFT, linha vermelha) aplicados à série de anomalias mensais da temperatura no Brasil, destendenciada pelo ajuste polinomial. Linhas horizontais tracejadas pretas indicam os níveis de confiança de 90%, 95% e 99%. Linhas verticais tracejadas (vermelha, verde e azul) indicam as periodicidades significativas de 4, 33 e 82 anos, respectivamente. Fonte: elaborado no *RStudio* a partir dos dados da Figura 181.

Pelo resultado obtido e apresentado na **Figura 182**, nota-se que todos os métodos espectrais apresentam alta correlação, ou seja, todos periodogramas indicaram três principais ciclos contidos nas temperaturas superficiais do ar no Brasil da série BEST:

- O ciclo climático de 4 anos relaciona-se com o *ciclo do El Niño – Oscilação Sul (ENOS)*<sup>217</sup>, oscilação atmosférica-oceânica de origem astronômica-lunar, atingiu o nível de confiança de 95% pelos métodos MEM e MTM, além de superar o nível de confiança de 99% pelos métodos de Lomb e FFT.

<sup>217</sup> Conforme detalhado no item “2.3.4.1. Oscilações Oceânicas” (p. 164).

- Sobre o ciclo climático de 33 anos, relacionado aos *ciclos de Brückner*<sup>218</sup> de provável origem astronômica-solar, ele foi o mais significativo de todos, tendo sido unânime e consistentemente identificado por todas as técnicas espectrais, com valores acima de 99% do nível de confiança. No Brasil, os ciclos de Brückner já foram identificados em cronologias de anéis de crescimento de árvore de amostras do Rio Grande do Sul (PRESTES, 2006; PRESTES et al., 2011; 2018); e amostras do Paraná e Santa Catarina (LORENSI, 2016).
- Por fim, o ciclo de 82 anos foi identificado bem no limite de Nyquist<sup>219</sup>. Relacionado ao *ciclo solar inferior de Gleissberg*<sup>220</sup>, tal ciclo multidecadal foi identificado por três periodogramas: Lomb, que atingiu o nível de confiança de 99%, MTM e MEM, que atingiram 95%; já a FFT não apresentou qualquer pico próximo dos 82 anos, ficando abaixo do nível de 90% de confiança.

Comparando<sup>221</sup> os ciclos identificados na série de temperatura global (**Figura 168**, p. 337) com a série de temperatura no Brasil (**Figura 182**), um fato coincidente é as duas séries terem apresentado três ciclos significativos ao longo dos últimos 160 anos. Quanto aos períodos dos ciclos descobertos, eles estão próximos uns dos outros, mas são de origem um pouco distintas: a temperatura global do ar possui ciclos de 9 anos (origem lunar), 22 anos (origem solar, ciclo de Hale) e 60 anos (origem oceânica-atmosférica relacionado à ODP e à OMA); e a temperatura no

---

<sup>218</sup> Conforme detalhado no item “1.6.4.2. Ciclos de Brückner” (p. 110).

<sup>219</sup> Conforme explicado na nota de rodapé nº 212.

<sup>220</sup> Conforme citado no item “2.3.1.2. Outros Ciclos Solares” (p. 135).

<sup>221</sup> A diferença entre os tipos de ciclos identificados também tem outra razão óbvia que não deve passar despercebida. Ao lidar com a série de temperaturas globais, ela considerada tanto as temperaturas que foram medidas nos continentes (por estações meteorológicas terrestres) quanto as temperaturas obtidas na superfície (por estações meteorológicas instaladas em boias fixas e móveis, por exemplo). Ou seja, a temperatura global incorpora fortemente as influências dos oceanos, que ocupam 2/3 da superfície do planeta. Já a série de temperatura do ar no Brasil foi obtida somente por medições estações meteorológicas no continente. Parte delas, as mais próximas do litoral, pode sofrer maiores influências dos efeitos da maritimidade. No entanto, considerando as dimensões continentais do Brasil, outra parte considerável das estações sofrem efeitos majoritários da continentalidade, registrando dados que são típicos de uma dinâmica atmosférica diferenciada das condições oceânicas. A presença ou proximidade com a água – em virtude de sua elevada capacidade de reter calor (com calor específico de 1 cal/g °C) – é um fator que geralmente atenua as amplitudes das oscilações da temperatura. Os continentes, com calor específico baixo, sofrem mais com as variações térmicas. Conforme visto antes, a tendência de aquecimento observada em diferentes regiões possui diferentes taxas: os continentes estão aquecendo mais rápido (incluindo nessa categoria a região do Brasil) que os oceanos. Quando se compara as temperaturas hemisféricas, o hemisfério norte, com 40% da superfície coberta pelos continentes, apresenta um atual ritmo de aquecimento maior que o observado no hemisfério sul, onde os continentes ocupam 20% da superfície. Portanto, a comparação entre a série de temperatura global – que abrange as temperaturas dos oceanos – com a série de temperatura no Brasil – representativa das condições terrestres – deve ser realizada com tais ressalvas em mente. São condições diferentes, com dinâmicas climáticas, características térmicas e de rugosidade, altitude e vegetação distintas e, no caso das medições terrestres, estas estão sujeitas a situações de microclimas bastante diversificados.

Brasil exprime ciclos<sup>222</sup> de 4 anos (oceânica-atmosférica relacionado ao ENOS), de 33 anos (origem lunar ou solar<sup>223</sup>) e de 82 anos (ciclo solar inferior de Gleissberg).

Outro fato curioso é que todos esses ciclos possuem em comum possíveis origens astronômicas. Conforme relatado e explicado por Scafetta (2010, 2012b, 2013a, 2013b, 2014a), no longo e médio prazo, os movimentos dos planetas jovianos, em especial os gigantes gasosos Júpiter e Saturno, ocasionam significativa influência magnética e gravitacional na dinâmica do Sol. Assim, algumas conjunções e determinadas posições dos planetas são capazes de deslocar o centro de massa (baricentro) do sistema solar. E esse deslocamento que é sentido pelo Sol também se manifesta por meio das alterações na emissão de sua radiação. Alterando a quantidade de energia solar emitida, a Terra, por sua vez, experimenta também a repercussão dessas variações por meio de fenômenos internos periódicos, notadamente as oscilações oceânicas-atmosféricas, seja no curto prazo (ENOS, ciclo interanual a multianual, variando de 2 a 7 anos) ou de médio prazo (ODP e OMA, ciclos multidecadais com períodos em torno de 60 anos). Na hipótese sendo defendida em diferentes estudos de Scafetta, fatores astronômicos estariam influenciando o clima na Terra, sendo tais influências moduladas pela dinâmica solar. Além disso, os ciclos de 60 anos poderiam também expressar também efeitos diretos sendo manifestados e observados por meio frequência de terremotos (SCAFETTA; MAZZARELLA, 2015), de queda de meteoritos (SCAFETTA; MILANI; BIANCHINI, 2020) e da duração do dia (MAZZARELLA; SCAFETTA, 2011).

Os resultados dessas interessantes pesquisas se mostram explicações plausíveis para os a inter-relações entre fenômenos climáticos, oscilações oceânicas e atmosféricas e variações periódicas de temperatura. A percepção e reconhecimento dos padrões cíclicos naturais, e a consequente concepção de modelos fundamentados na periodicidade de tais fenômenos viabilizam traçar possíveis cenários sobre como o clima pode mudar no futuro. A partir dos ciclos identificados na série de dados nacionais, a seguir são apresentados os resultados dos modelos e projeções de temperatura do ar no Brasil.

---

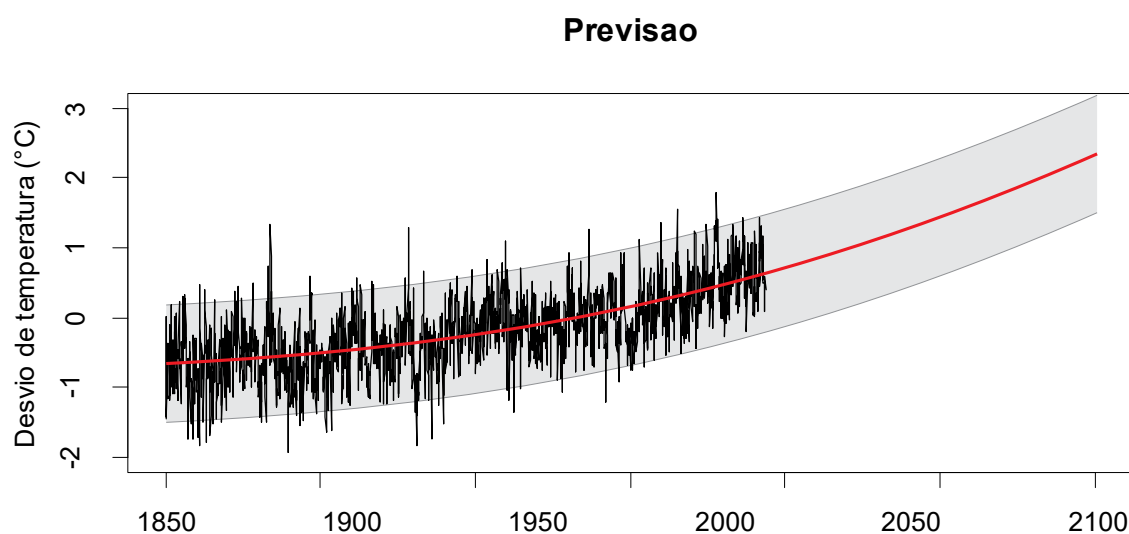
<sup>222</sup> Sobre os principais ciclos climáticos nas escalas interanuais, interdecadais e multidecadais, cabe registrar as seguintes contribuições de Molion (2021a):

- O ciclo de 4 anos está relacionado aos eventos El Niño, os quais, por sua vez, podem estar ligado ao sub harmônico de 4,4 anos do Ciclo de 8,85 anos [Ciclo das Apsides Lunares ou do perigeu], conforme indicado por Yndestad (2006), Haigh, Eliot e Pattiaratchi (2011) e Molion (2017);
- O ciclo de 9 anos é próximo do Ciclo das Apsides, podendo constituir também um sub harmônico do Ciclo Nodal Lunar de 18,6 anos, conforme indicado por Yndestad (2006), Haigh, Eliot e Pattiaratchi (2011) e Molion (2017);
- O ciclo de 35 anos pode representar um harmônico múltiplo relacionado com o Ciclo Nodal de 18,6 anos (YNDESTAD, 2006), ou também pode estar associado com um ciclo de torque solar (LANDSCHEIDT, 2003);
- O ciclo de 56 anos (cerca de 60 anos da ODP) pode ser um harmônico múltiplo do Ciclo Nodal de 18,6 anos (HAIGH, ELIOT; PATTIARATCHI 2011); e
- O ciclo de 82 anos relaciona-se com o Ciclo de Gleissberg (LANDSCHEIDT, 2003; MOLION, 2021b).

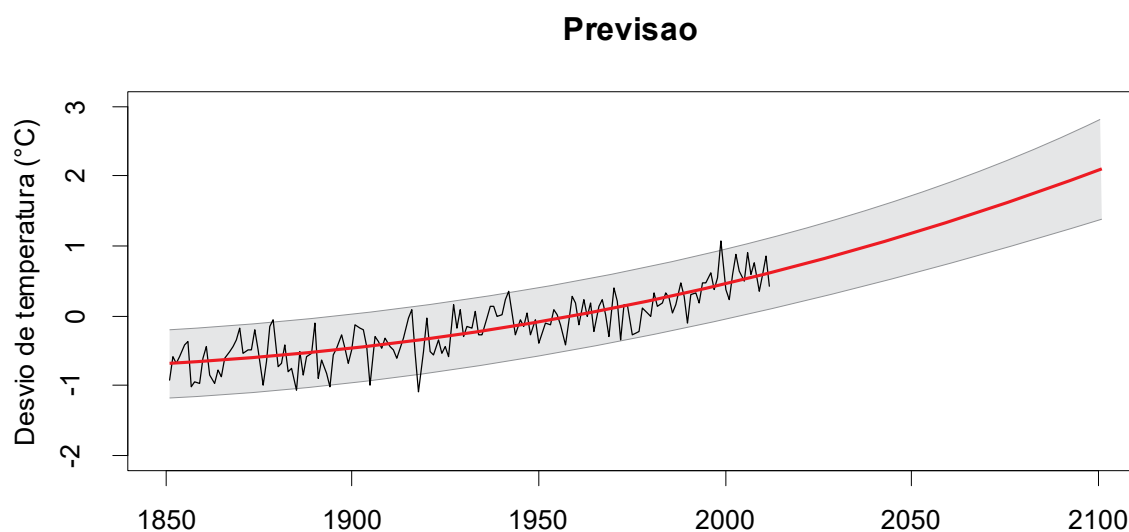
<sup>223</sup> Conforme relatado no “1.6.4.2. Ciclos de Brückner” (p. 110), existem diferentes hipóteses sendo levantadas sobre a origem do ciclo de Brückner, mas ainda sem qualquer comprovação conclusiva.

### 5.6.3. ETAPA 3 – Análise Preditiva: Modelagem e Projeções

Com base nos principais componentes periódicos significativos identificados na série de temperatura do ar no Brasil, foram construídos modelos e elaboradas correspondentes projeções das temperaturas. Dados das observações de temperatura de 1850 à 2011 foram utilizados no “treino” (calibragem) do modelo e projeções de temperatura foram realizadas até final do século. A partir dos modelos polinomiais quadráticos apresentados na **Figura 175** (dados mensais) e **Figura 176** (dados anuais), elaborou-se as respectivas projeções de referência (**Figura 183** e **Figura 184**).

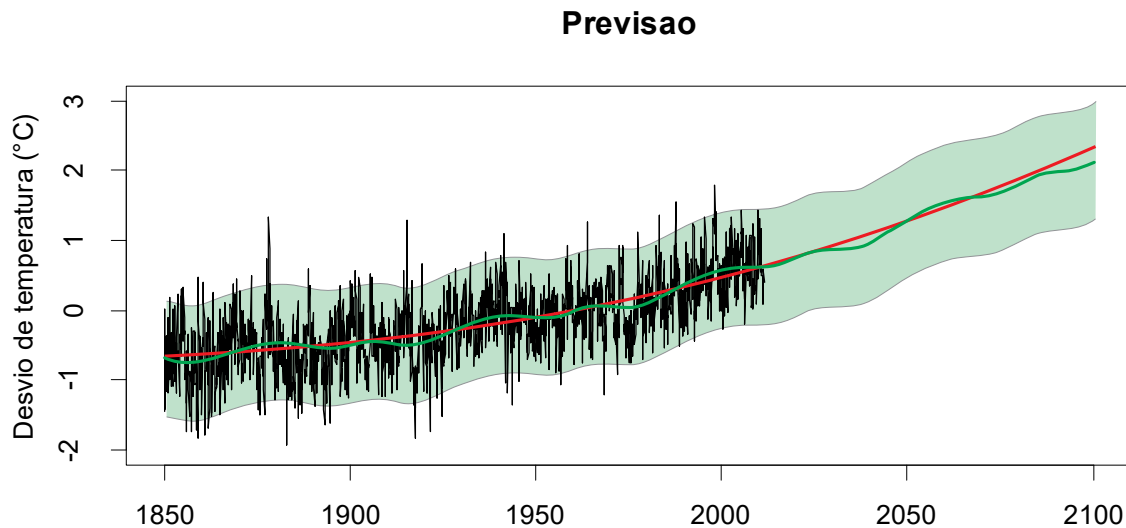


**Figura 183** – Projeção até 2100 (linha vermelha) da série das anomalias mensais da temperatura superficial no Brasil (linha preta), segundo modelo de ajuste polinomial (quadrático). A área cinza representa o intervalo de 90% de confiança. Fonte: elaborado no *RStudio* a partir dos dados da Figura 175.

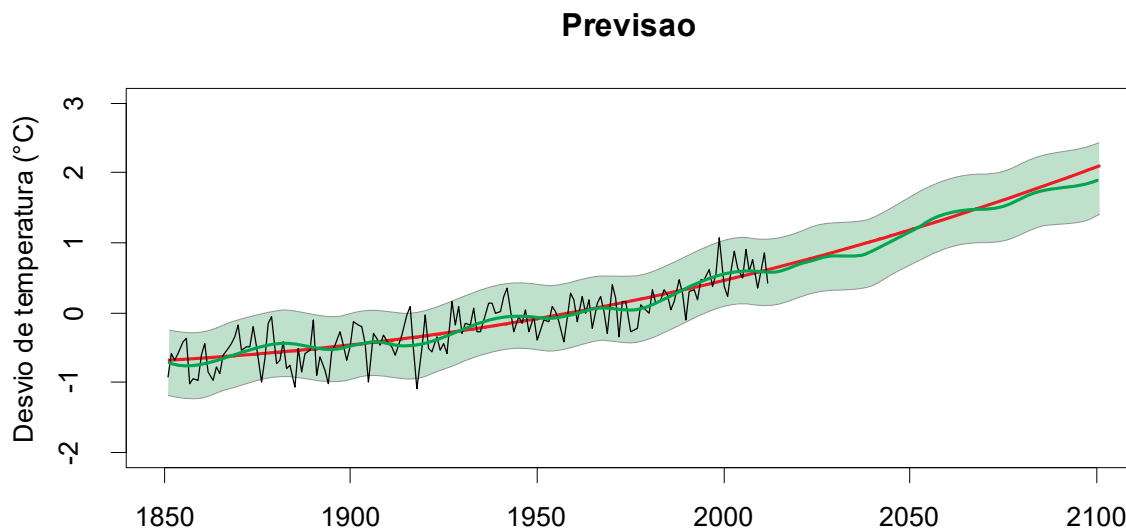


**Figura 184** – Projeção até 2100 (linha vermelha) da série das anomalias anuais da temperatura superficial no Brasil (linha preta), segundo modelo de ajuste polinomial (quadrático). A área cinza representa o intervalo de 90% de confiança. Fonte: elaborado no *RStudio* a partir dos dados da Figura 176.

Um primeiro modelo, utilizando ajustes de senos e cossenos, é apresentado na **Figura 185** (dados mensais) e **Figura 186** (dados anuais). O comportamento geral observado é praticamente análogo à projeção típica das figuras anteriores, com sutis diferenças em algumas oscilações em torno da tendência central de aumento polinomial quadrático.



**Figura 185** – Projeções, até 2100, das anomalias mensais da temperatura superficial no Brasil, segundo modelo de ajuste polinomial (quadrático, linha vermelha); e modelo de senos e cossenos associado ao modelo polinomial (linha verde). A área verde claro indica o intervalo de 90% de confiança das respectivas projeções. Fonte: elaborado no *RStudio* a partir dos dados da Figura 175.

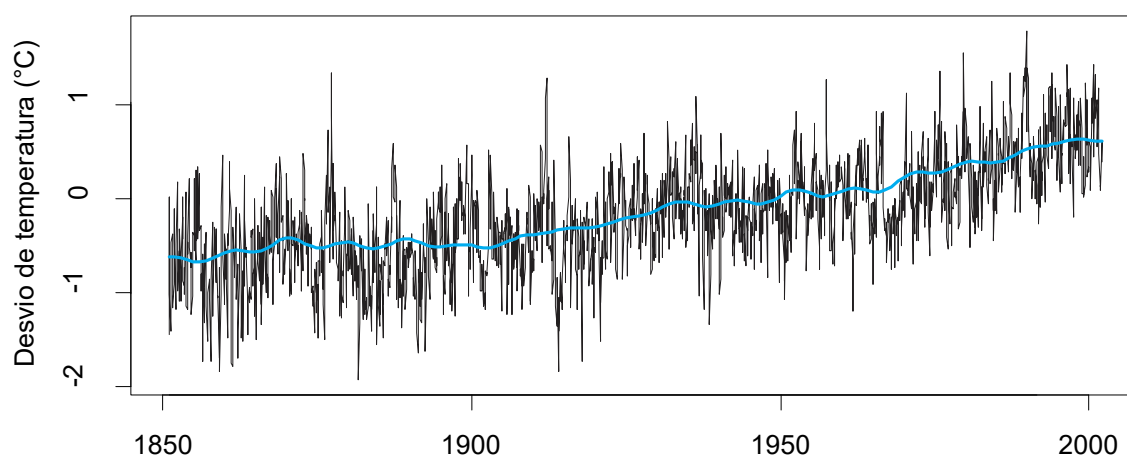


**Figura 186** – Projeções, até 2100, das anomalias anuais da temperatura superficial no Brasil, segundo modelo de ajuste polinomial (quadrático, linha vermelha); e modelo de senos e cossenos associado ao modelo polinomial (linha verde). A área verde claro indica o intervalo de 90% de confiança das respectivas projeções. Fonte: elaborado no *RStudio* a partir dos dados da Figura 176.



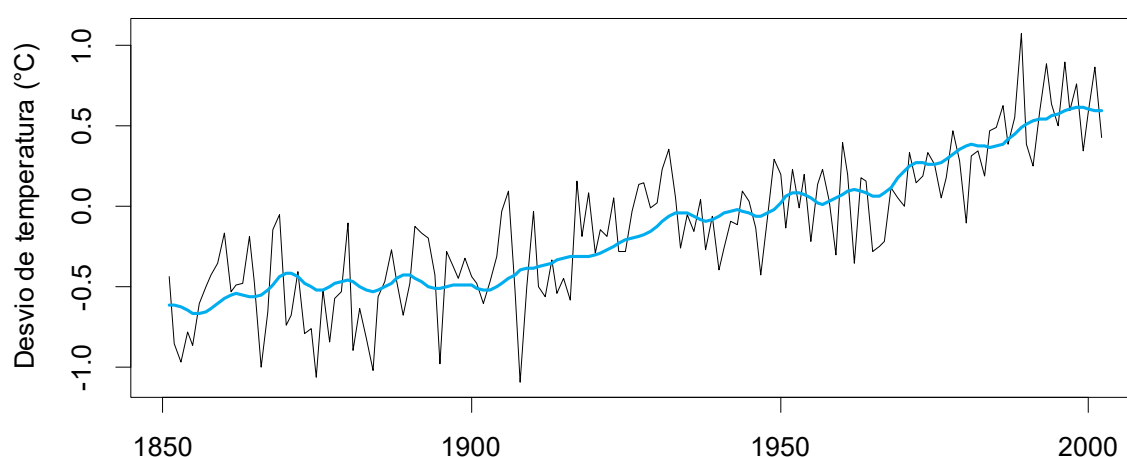
Ao considerar os períodos dos ciclos significativos identificados anteriormente e associando-os com o modelo de ajuste quadrático, foi elaborado um terceiro modelo de ajuste aos dados mensais (**Figura 175**) e anuais (**Figura 176**), com respectivas projeções na **Figura 187** e **Figura 188**.

### Blend Série Mensal (Série Natural + Polinomial)



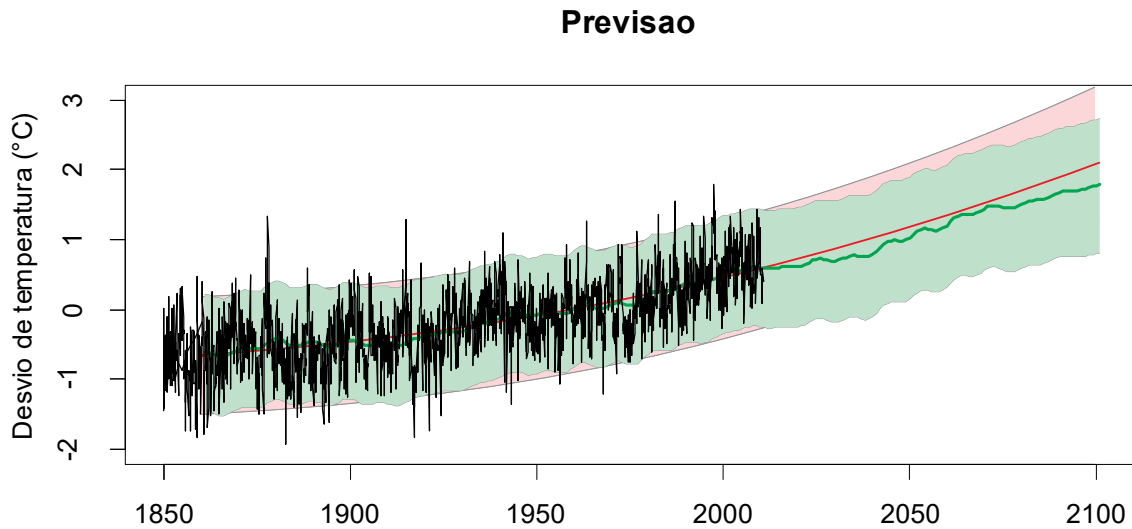
**Figura 187** – Modelo de ajuste à série das anomalias mensais da temperatura superficial no Brasil, considerando a associação entre componentes periódicos naturais e componente polinomial (quadrático). Fonte: elaborado no *RStudio* a partir dos dados da Figura 175.

### Blend Série Anual (Série Natural + Polinomial)

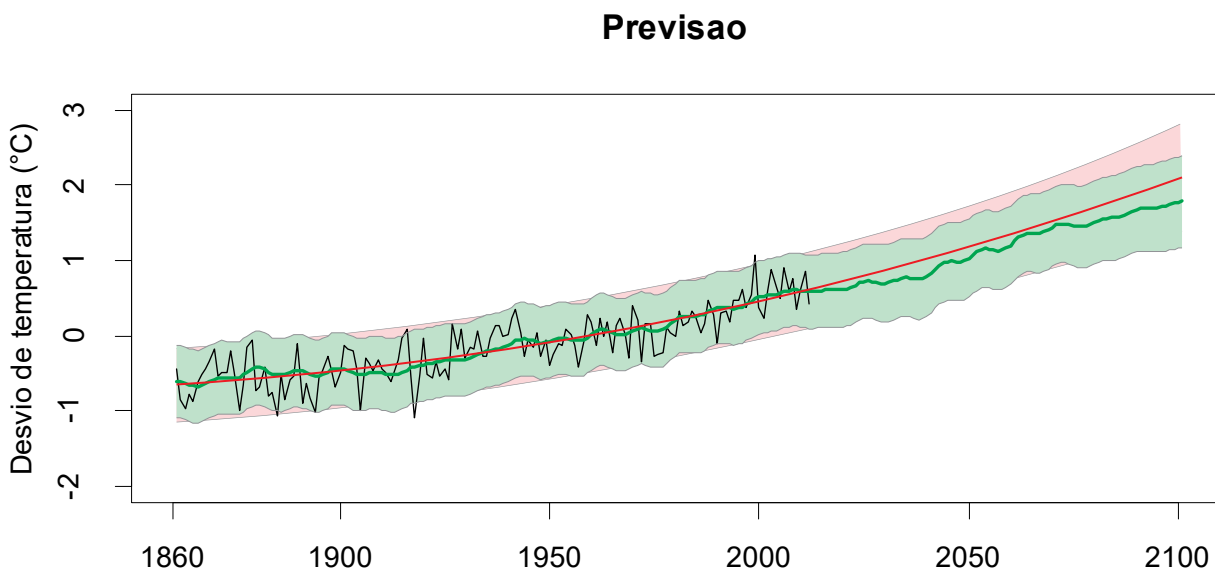


**Figura 188** – Modelo de ajuste à série das anomalias anuais da temperatura superficial no Brasil, considerando a associação entre componentes periódicos naturais e componente polinomial (quadrático). Fonte: elaborado no *RStudio* a partir dos dados da Figura 176.

Com base nos modelos supramencionados, realizou-se projeções dos valores de temperatura dos modelos fundamentados na conjunção de ciclos naturais com ajuste polinomial, resultando na **Figura 189** (série mensal) e **Figura 190** (série anual).



**Figura 189** – Projeções, até 2100, das anomalias mensais da temperatura superficial no Brasil, segundo modelo de ajuste polinomial (quadrático, linha vermelha); e modelo de ciclos naturais associados ao modelo polinomial (linha verde). As áreas vermelho claro e verde claro indicam o intervalo de 90% de confiança das respectivas projeções. Fonte: elaborado no *RStudio* a partir dos dados da Figura 187.



**Figura 190** – Projeções, até 2100, das anomalias anuais da temperatura superficial no Brasil, segundo modelo de ajuste polinomial (quadrático, linha vermelha); e modelo de ciclos naturais associados ao modelo polinomial

(linha verde). As áreas vermelho claro e verde claro indicam o intervalo de 90% de confiança das respectivas projeções. Fonte: elaborado no *RStudio* a partir dos dados da Figura 188.

Ao comparar os resultados finais obtidos nas projeções da temperatura global (**Figura 173** e **Figura 174**, p. 341) com os gráficos das projeções de temperatura do ar no Brasil (**Figura 189** e **Figura 190**), nota-se que os ciclos são mais proeminentes na primeira série analisada. Isto é, nas projeções das temperaturas globais, o modelo oscilatório natural apresenta curvas mais protuberantes, com maior variabilidade e com períodos de tendências com menor ritmo de aquecimento, fases que se distanciam mais da projeção exponencial. Ressalta-se que o principal motivo da diferença entre as projeções da série brasileira (BEST) das projeções da série global (HadCRUT3) reside no fato de que a primeira representa a temperatura do ar no continente, enquanto que a segunda é representativa de todo o globo, incluindo os continentes e os oceanos<sup>224</sup>. Nesse sentido, a consideração das temperaturas do ar acima das superfícies dos oceanos estabelece, na série global, a forte influência dos ciclos oceânicos, em especial a ODP e a OMA.

### 5.6.3.1. Projeções complementares

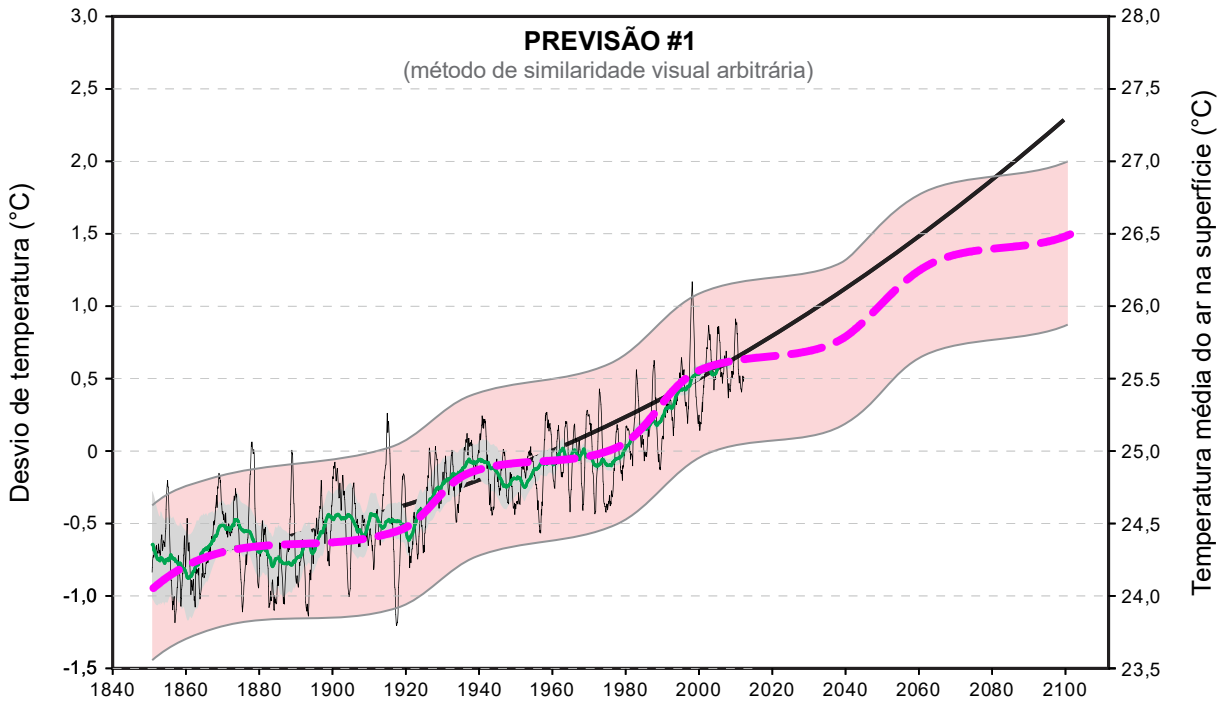
Até o momento, as projeções apresentadas estão alicerçadas no método da *previsão por similaridade determinística*<sup>225</sup>, ou seja, os ajustes foram estatisticamente calculados com base em modelos matemáticos. Considerando a existência de diferentes tipos de projeções, aproveita-se o ensejo para fornecer algumas *previsões por similaridade visual arbitrária*<sup>226</sup>, nas quais os ajustes foram visualmente estimados. Na **Figura 191**, **Figura 192**, **Figura 193** e **Figura 194** são apresentados quatro possibilidades de projeções futuras decorrentes de ajustes visuais baseados em ciclos de 60 anos. A diferença entre cada gráfico está no período após 2011: o primeiro gráfico tem projeções que tendem a estar mais próximas da tendência do ajuste polinomial quadrático; enquanto os gráficos subsequentes apresentam distanciamentos graduais em relação à referida tendência, até que o último gráfico apresenta projeções com menor grau de aquecimento em 2100.

---

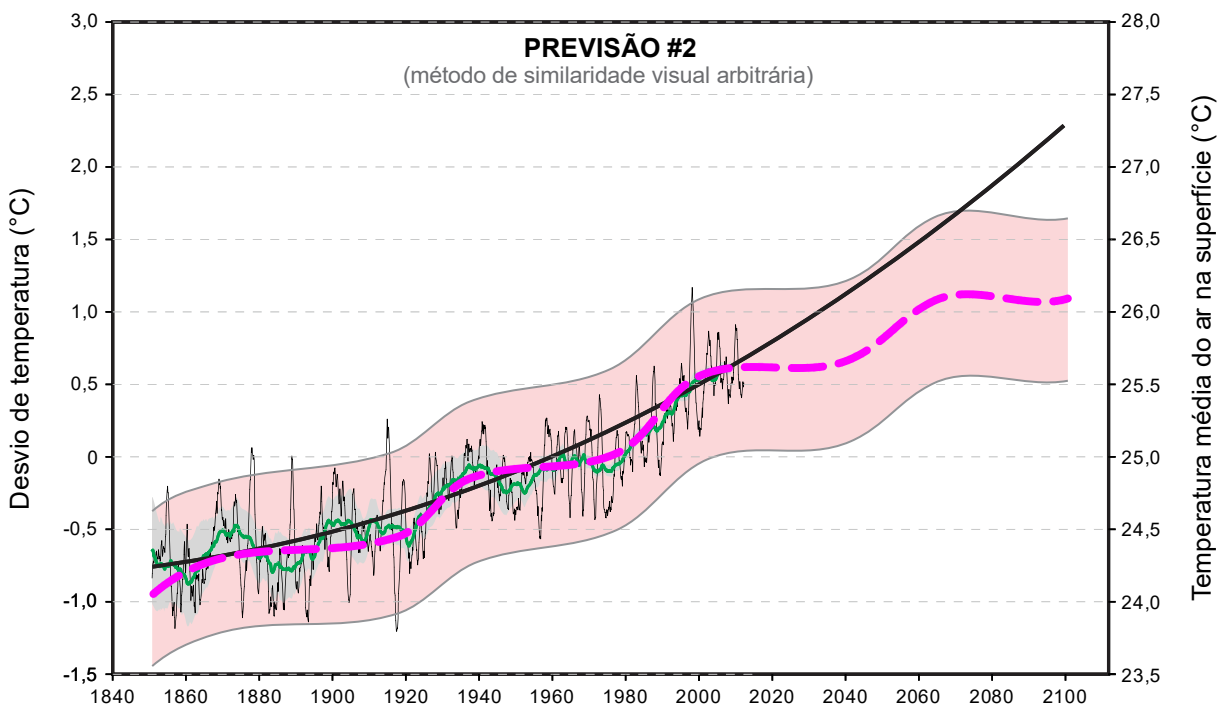
<sup>224</sup> Ver explicação na nota de rodapé n. 221.

<sup>225</sup> Conforme explicado na nota de rodapé nº 150.

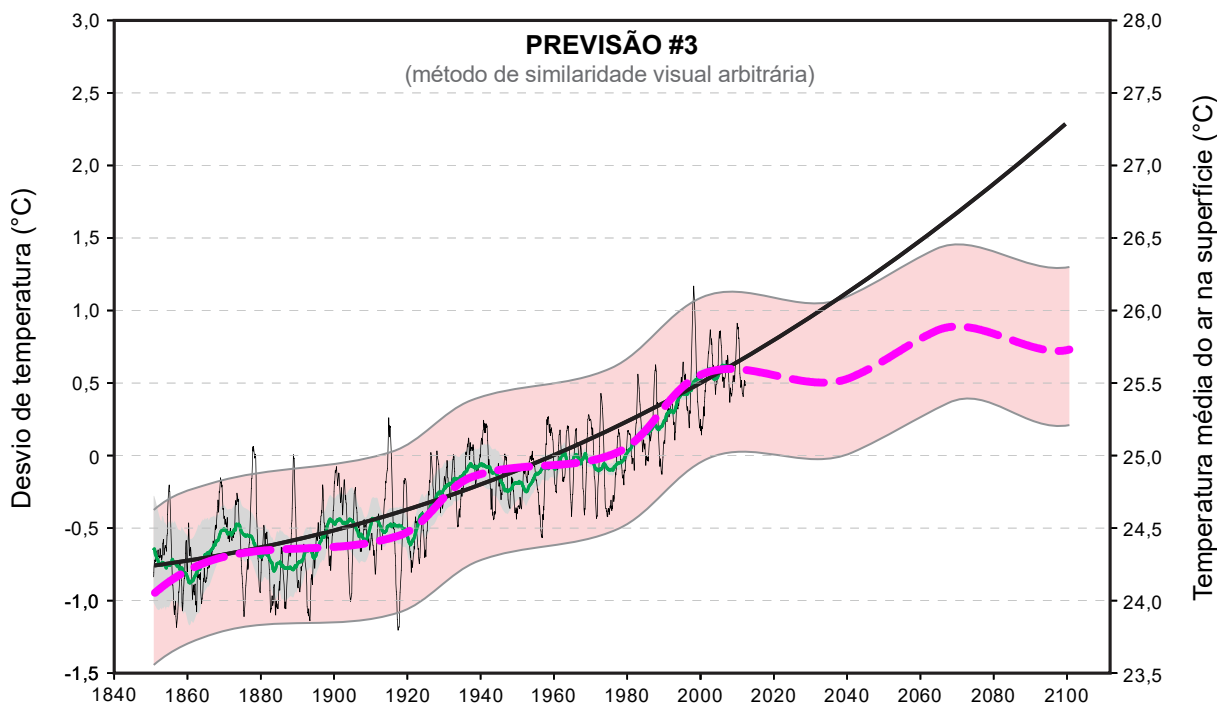
<sup>226</sup> Idem nota de rodapé anterior, ressaltando que nesse tipo de previsão *ad arbitrium*, os ajustes são visualmente estimados, todavia, não são aleatórios ou sem qualquer critério, uma vez que representam possíveis cenários de resfriamento conforme ciclos longos identificados em outros estudos.



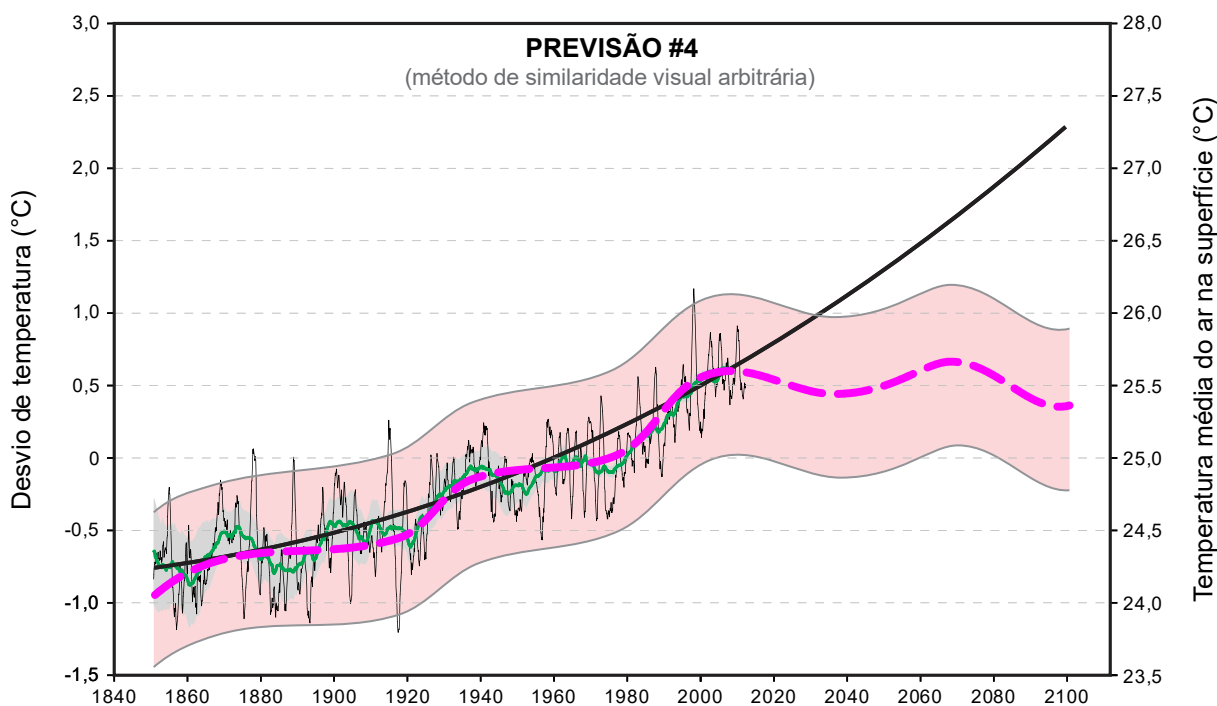
**Figura 191** – Observações (1950-2011) da temperatura superficial do ar no Brasil e projeções futuras, até 2100, baseadas em ajuste visual #1. Legenda: média móvel de 12 meses (linha preta fina); média móvel de 10 anos (linha verde), com intervalo de incerteza de 95% (área cinza); projeção polinomial quadrática (linha preta grossa); ajuste visual de tendência oscilatória (linha vermelha grossa), baseada no ciclo de 60 anos, acompanhado de intervalo de confiança aproximado de 90%. Fonte: elaborado com dados de Berkeley Earth (2017).



**Figura 192** – Observações (1950-2011) da temperatura superficial do ar no Brasil e projeções futuras, até 2100, baseadas em ajuste visual #2. Legenda: média móvel de 12 meses (linha preta fina); média móvel de 10 anos (linha verde), com intervalo de incerteza de 95% (área cinza); projeção polinomial quadrática (linha preta grossa); ajuste visual de tendência oscilatória (linha vermelha grossa), baseada no ciclo de 60 anos, acompanhado de intervalo de confiança aproximado de 90%. Fonte: elaborado com dados de Berkeley Earth (2017).



**Figura 193** – Observações (1950-2011) da temperatura superficial do ar no Brasil e projeções futuras, até 2100, baseadas em ajuste visual #3. Legenda: média móvel de 12 meses (linha preta fina); média móvel de 10 anos (linha verde), com intervalo de incerteza de 95% (área cinza); projeção polinomial quadrática (linha preta grossa); ajuste visual de tendência oscilatória (linha vermelha grossa), baseada no ciclo de 60 anos, acompanhado de intervalo de confiança aproximado de 90%. Fonte: elaborado com dados de Berkeley Earth (2017).



**Figura 194** – Observações (1950-2011) da temperatura superficial do ar no Brasil e projeções futuras, até 2100, baseadas em ajuste visual #4. Legenda: média móvel de 12 meses (linha preta fina); média móvel de 10 anos (linha verde), com intervalo de incerteza de 95% (área cinza); projeção polinomial quadrática (linha preta grossa); ajuste visual de tendência oscilatória (linha vermelha grossa), baseada no ciclo de 60 anos, acompanhado de intervalo de confiança aproximado de 90%. Fonte: elaborado com dados de Berkeley Earth (2017).

Os quatro gráficos da **Figura 191**, **Figura 192**, **Figura 193** e **Figura 194** são ilustrativos e aproximados, tendo sido elaborados sem qualquer aplicação de análises estatísticas. Eles seguem, por exemplo, a abordagem oferecida por Easterbrook (2006, 2008) e Akasofu (2007, 2010). Ressalvas feitas, eles possuem o propósito de demonstrar possibilidades que podem ser futuramente obtidas em análises mais detalhadas. Por exemplo, caso seja desenvolvida alguma investigação análoga aos trabalhos de Scafetta (2012b, e posteriores) – nos quais foram usadas reconstruções de temperaturas oriundas de dados paleoclimáticos de temperatura, bem como estimativas de outros fenômenos correlatos como variação da atividade solar – então é admissível encontrar ciclos maiores dos identificados na série de 160 anos da BEST. Ou seja, além dos ciclos de 4, 33 e 82 anos, pode ser razoável encontrar ciclos longos como os descobertos por: Scafetta (2011, 2012a), com períodos de 115, 130 e 983 anos [**Figura 122-(A)**, p. 254]; Lüdecke, Hempelmann e Weiss (2013), com ciclos de 125 e 250 anos [**Figura 114-(D)**, p. 244]; Lüdecke e Weiss (2017), com ciclos de 188, 463, 1.003 anos [**Figura 115-(B)**, p. 245]; e Babich et al. (2016), ciclos de 200, 350, 500 e 1.000 anos (**Figura 116**, p. 246). As projeções fornecidas desses autores apresentam em comum um período de resfriamento para as próximas décadas e até mesmo séculos, a depender do caso. Se existe a possibilidade desse tipo de cenário para a escala global, então não se pode descartar a chance de algo parecido ocorrer no Brasil.

## **5.7. COMPARAÇÃO E VALIDAÇÃO DAS PROJEÇÕES DE TEMPERATURA DO AR NO BRASIL**

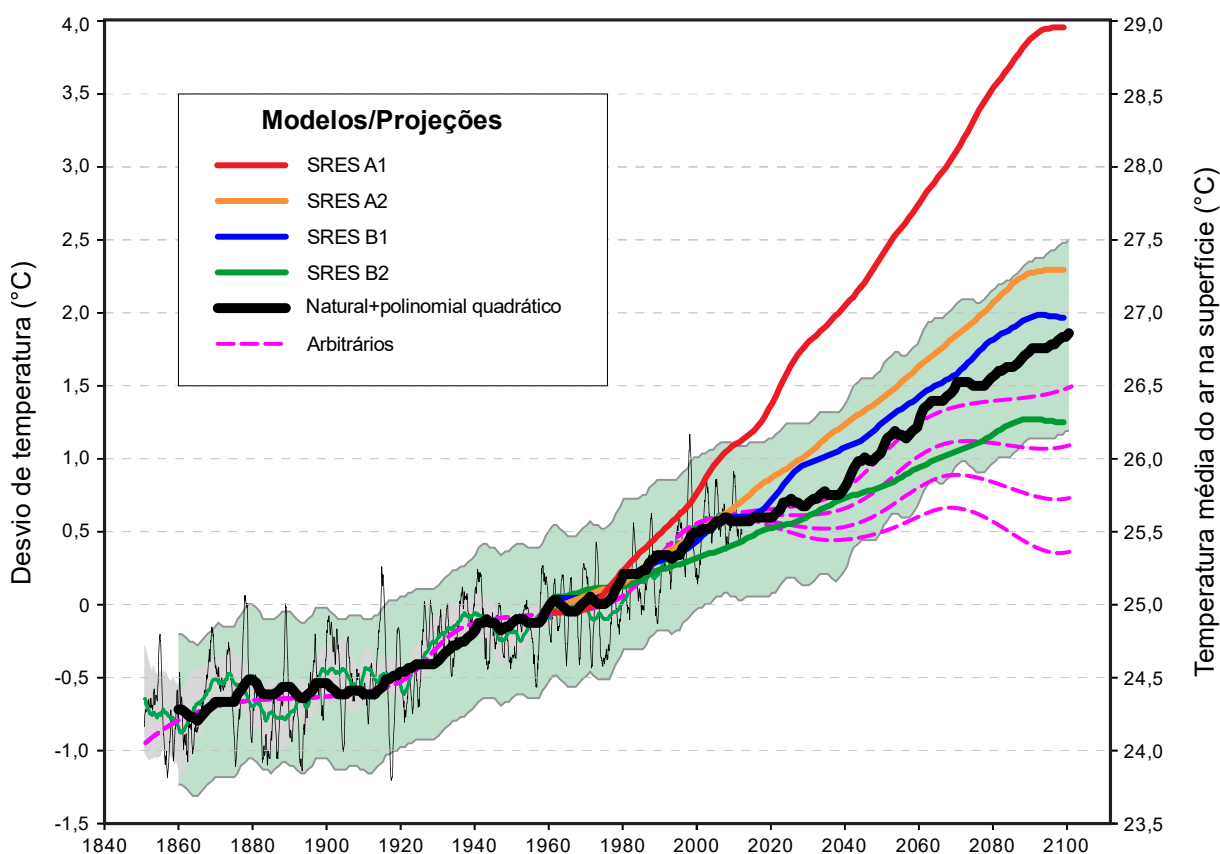
Os resultados obtidos mostraram que foram satisfatórias as técnicas espectrais aplicadas e as consequentes modelagens e projeções da temperatura superficial do ar no Brasil. Como etapa final, cabe comparar as projeções de temperatura do ar no Brasil com outros modelos convencionais (MCGs)<sup>227</sup>. Além disso, para validar o nível de aderência das projeções, deve-se averiguar como as observações de temperatura no Brasil se encaixam dentro dos intervalos de projeções. Lembrando que toda análise espectral e modelagem utilizou de dados que compreendem o período de 1850 a 2011. As observações da última década não foram consideradas na calibração dos modelos para justamente serem, agora, utilizadas como período de validação.

---

<sup>227</sup> Conforme apresentado no CAPÍTULO 3, item “3.1.2.1.3. Brasil” (p. 221).

### 5.7.1. Comparação de modelos

A primeira comparação (**Figura 195**) realizada nesse intento envolve as projeções decorrentes dos modelos anteriormente elaborados com as projeções dos modelos apresentados por Hulme e Shear (1999). Assim, conforme gráfico apresentado na **Figura 74** (p. 193), os modelos convencionais dos citados autores são confrontados com o modelo determinístico fundamentado nos ciclos climáticos identificados na análise espectral, bem como nas previsões arbitrárias apresentadas no item anterior. Para viabilizar a comparação, foram realizados os devidos ajustes para tornar as escalas e proporções equivalentes entre si.



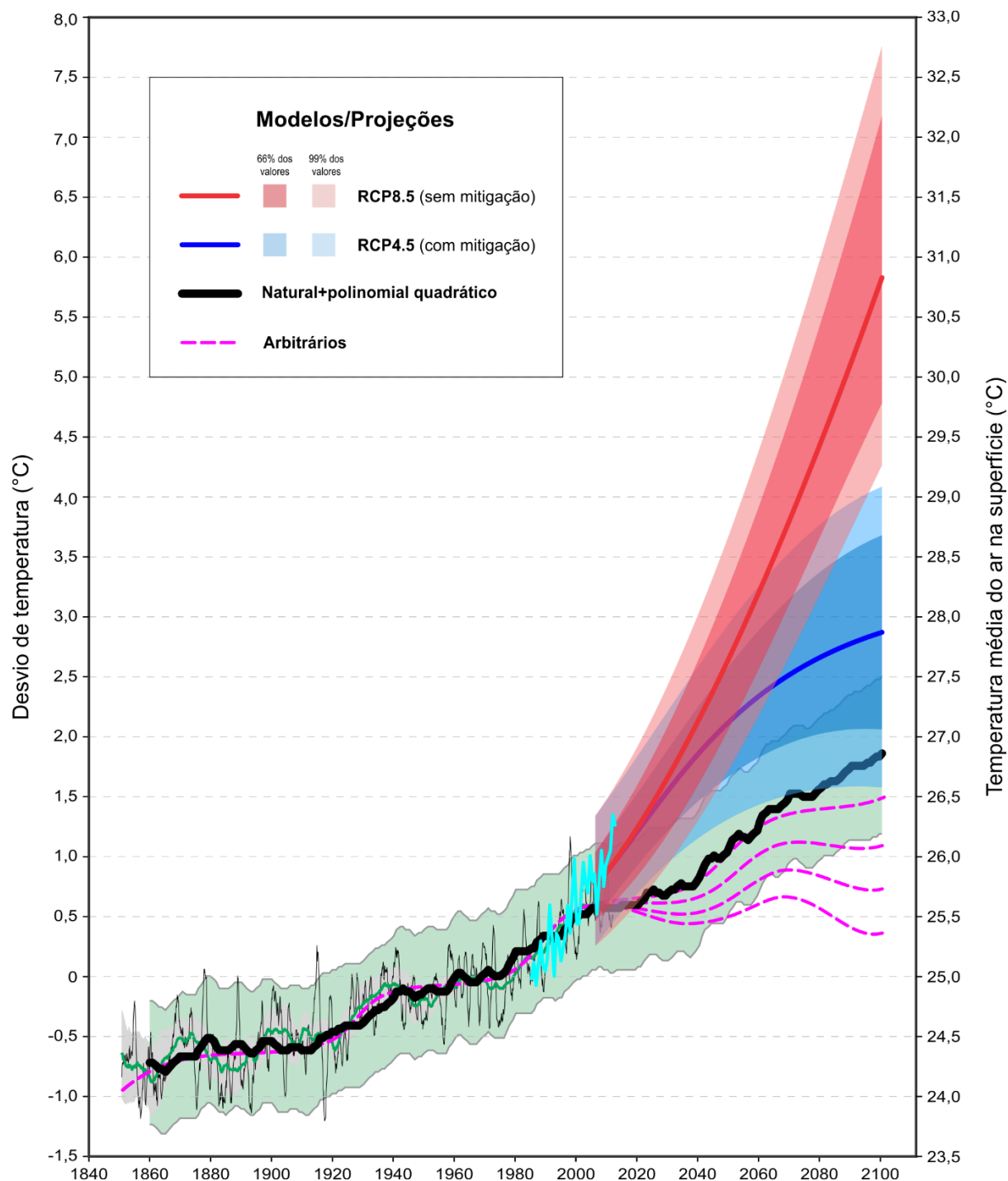
**Figura 195** – Observações (1850-2011) da temperatura superficial do ar no Brasil e projeções futuras, até 2100, comparativo com dados de Hulme e Shear (1999). Legenda: média móvel de 12 meses (linha preta fina) e média móvel de 10 anos (linha verde fina) da temperatura observada do ar no Brasil, com intervalo de incerteza de 95% (área cinza); modelo de ciclos naturais associados ao modelo polinomial (linha preta grossa), acompanhado de intervalo de confiança aproximado de 90% (área verde claro); modelos segundo Hulme e Shear (1999), com projeções baseadas nos cenários SRES (A1 - linha vermelha; A2 - linha laranja; B1 - linha azul; B2 - linha verde); projeções arbitrárias (linhas pontilhadas rosas, de cima para baixo: previsão #1, #2, #3 e #4). Fontes: observações de temperatura – Berkeley Earth (2017); projeções SRES – adaptado de Hulme e Shear (1999), cf. Figura 74; demais projeções, com base na Figura 189, Figura 191, Figura 192, Figura 193 e Figura 194.

A **Figura 195** demonstra que o modelo oscilatório de ciclos naturais associados ao modelo polinomial (linha preta grossa) apresenta uma tendência de aquecimento contínuo, comportamento que é seguido de modo semelhante pelas projeções SRES A2, B1 e B2 (linhas laranja, azul e verde). A projeção do modelo SRES A1 (linha vermelha), por outro lado, exige um comportamento ascendente significativo. Quanto às quatro previsões arbitrárias (linhas rosas), elas indicam diferentes alternativas em cenários de possíveis arrefecimento, com a queda das temperaturas em ritmos progressivamente descendentes.

Em termos quantitativos, a projeção do modelo de ciclos natural (linha preta) prevê, para em 2100, que a temperatura do ar no Brasil pode atingir o valor de  $+1,85 \pm 0,65$  °C (considerando o intervalo de confiança de 90%, área verde claro); enquanto que o modelo SRES A1 prevê o dobro disso, ou seja, 3,95 °C até o final do século. Até 2100, demais modelos SRES preveem um aquecimento que pode atingir entre 1,25 a 2,30 °C, e os modelos arbitrários (linhas pontilhadas rosas) indicam valores na faixa de 0,35 a 1,50 °C.

Já foi apontado anteriormente que o trabalho de Hulme e Shear (1999) é relativamente antigo, tendo sido publicado há mais de 20 anos. Uma comparação com modelos e projeções mais atuais é realizada com os dados de The Climate Data Factory (2018) (**Figura 76**, p. 195), resultando na **Figura 196**. De modo semelhante ao gráfico anterior, todas as projeções de interesse foram condensadas em um único gráfico, tendo sido as curvas ajustadas e reescaladas.





**Figura 196** – Observações (1850-2011) da temperatura superficial do ar no Brasil e projeções futuras, até 2100, comparativo com dados de The Climate Data Factory (2018). Legenda: média móvel de 12 meses (linha preta fina) e média móvel de 10 anos (linha verde fina) da temperatura observada do ar no Brasil, com intervalo de incerteza de 95% (área cinza); modelo de ciclos naturais associados ao modelo polinomial (linha preta grossa), acompanhado de intervalo de confiança aproximado de 90% (área verde claro); dois modelos segundo The Climate Data Factory (2018), com projeções baseadas nos cenários RCP8.5, sem mitigação (linha vermelha) e RCP4.5, com mitigação (linha azul), ambos com intervalos confiança de 66% e 90% (áreas vermelho claro e azul em dois tons cada); projeções arbitrárias (linhas pontilhadas rosas, de cima para baixo: previsão #1, #2, #3 e #4). Também é exibido o intervalo de dados de temperatura (1985-2017) que foi utilizado pelo autor dos modelos RCP na confecção de suas projeções (linha azul ciano claro). Fontes: observações de temperatura – Berkeley Earth (2017); projeções RCP – adaptado de Climate Data Factory (2018), cf. Figura 76; demais projeções, com base na Figura 189, Figura 191, Figura 192, Figura 193 e Figura 194.

Em relação à análise comparativa anterior, percebe-se uma evidente e chamativa discrepância: os modelos convencionas mais recentes (aqui exemplificados pelas projeções com base em cenários RCP) apresentam duas previsões de aquecimento em ritmos bastante exacerbados. O primeiro caso do modelo RCP8.5, com uma impressionante curva de aquecimento, causa certo inevitável e indisfarçável espanto ou incômodo<sup>228</sup>. Diferente dos modelos anteriores, as projeções apresentam, além da linha média, dois correspondentes níveis de intervalos confiança, o que aumenta ainda mais a impressão dos valores extremos e exorbitantes.

Tentando abstrair-se do impacto visual quanto ao aspecto de uma ascendente explosiva, analisa-se os dados numéricos. Em comparação com o modelo referencial natural+polinomial (linha preta) – o qual, já dito antes, prevê um valor de +1,85 °C em 2100 para temperatura superficial do ar no Brasil – o modelo RCP8.5 indica um valor médio de 5,70 °C no final do século. Quando considerados os respectivos intervalos de confiança desse modelo, as projeções ampliam o intervalo para um aquecimento de +4,80 a +7,10 °C (no caso do nível de 66%) ou +4,25 a +7,70 °C (no caso de 90% do nível de confiança). Com base em tais intervalos, o valor final da previsão do modelo RCP8.5 pode ser aproximado para um aumento de  $5,7 \text{ °C} \pm 1,7 \text{ °C}$  em 2100.

Os extravagantes valores máximos indicados pelos modelos típicos do IPCC, com previsão de aquecimento na ordem de +6,0 a quase +8,0 °C, representam cerca de 4 vezes o valor do modelo oscilatório natural proposto. O valor central, menos extremo, ainda assim é equivalente a 3 vezes mais a taxa de aquecimento em relação ao modelo referencial de caráter oscilatório. Já a projeção do cenário RCP4.5 – apresentando uma curva sigmoidal, com ponto de inflexão e subsequente gradual redução da taxa de aquecimento – possui previsão central no valor de +2,90 °C em 2100, com intervalos de confiança que possuem, para o mesmo ano, valores que variam de +2,05 a +3,70 °C (nível de 66%) e de 1,60 a 4,10 °C (nível de 90%). Assim, o valor final aproximado do modelo RCP4.5 é a previsão do aumento de  $+2,9 \pm 1,2 \text{ °C}$  em 2100.

Uma última comparação de modelos, realizada em relação às projeções oferecidas por Soares, Marengo e Nobre (2019), é apresentada na **Figura 197**. Nela, as curvas dos modelos RCP8.5 e RCP4.5 são idênticas ao apresentado na **Figura 77** (p. 195), exceto pela ausência de intervalos de confiança. A novidade trazida na **Figura 197** é o

---

<sup>228</sup> Talvez seja justamente esse o objetivo de traçarem projeções alarmistas tão assombrosas: causar medo e preocupação. O uso desses tipos de cenários chocantes é discutido em detalhes no **APÊNDICE D** (p. 371) e **APÊNDICE I** (p. 465).

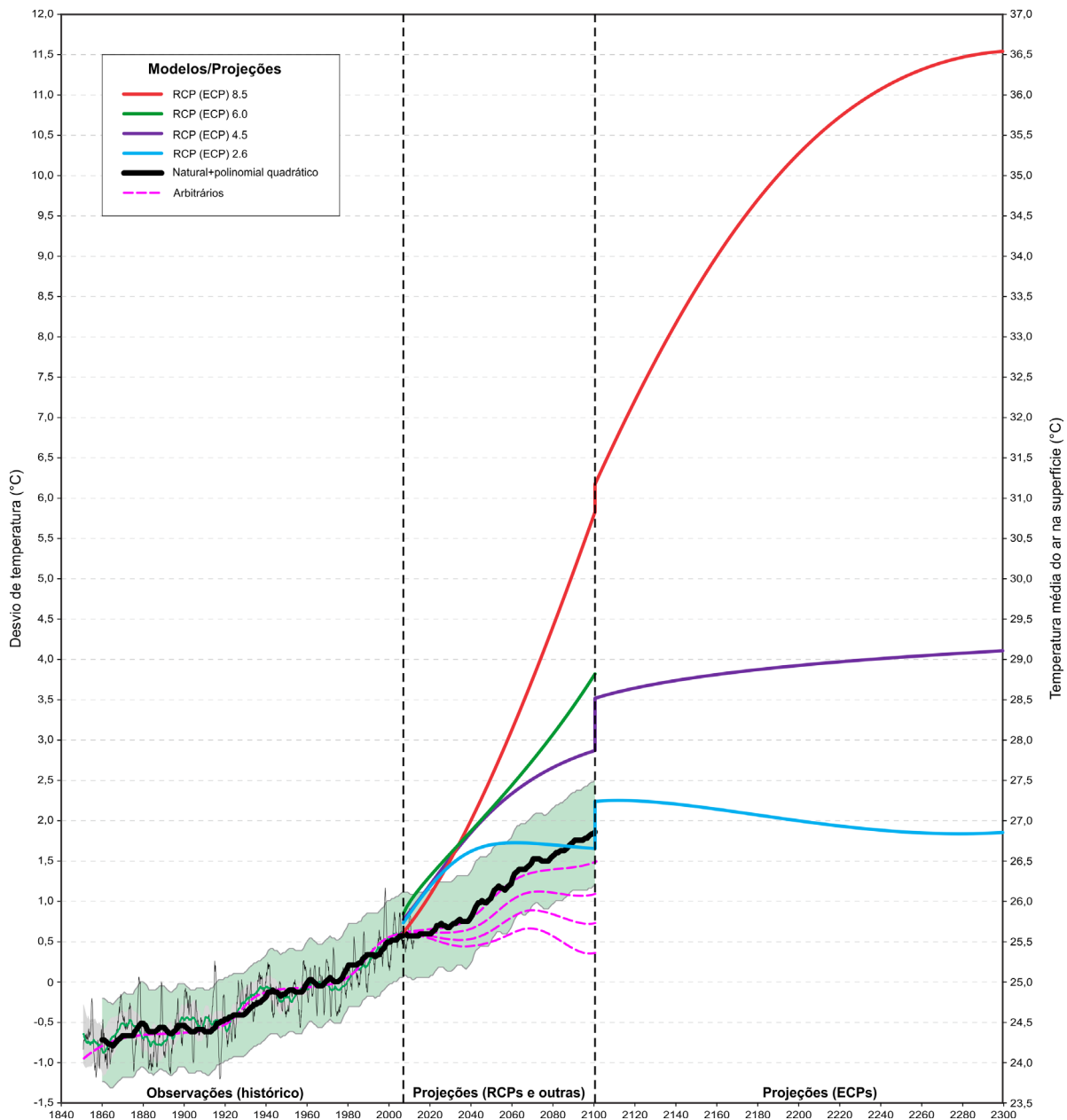
acréscimo de dois cenários (RCP6.0 e RCP2.6), bem como os valores dos modelos ECP, representados como extensão dos respectivos cenários RCP.

Além das inferências semelhantes às obtidas na **Figura 196**, os dois modelos apresentados pelos referidos autores permitem traçar mais duas projeções de temperaturas até 2100: aumento de +3,80 °C, conforme cenário RCP6.0 (linha verde) e aumento de +1,65 °C para o cenário RCP2.6. Os três cenários ECP projetam, até o ano 2300, os seguintes valores de aumento da temperatura no Brasil: +1,85 °C (RCP2.6), +4,10 °C (RCP4.5) e +11,55 °C (RCP8.5). Talvez por falha, a projeção ECP 6.0, correspondente à projeção RCP 6.0 (linha verde), não foi apresentada pelos autores no documento original. Os valores extremos máximos obtidos pelos autores nas projeções para 2100 são extraordinariamente superiores aos valores obtidos pelo modelo proposto na presente investigação. Se um aumento de cerca de +7.0 °C parecia imoderado no caso mais pessimista (RCP8.5) da **Figura 196**, um aumento de mais de 10 °C nos valores das projeções até o ano 2300 são descomunais na **Figura 197**. Tal exorbitância é simplesmente impressionante, capaz de deixar qualquer pessoa abismada<sup>229</sup>. Considera-se como ousadas e incautas as projeções apresentadas pelos autores para o ano 2300, visto que são fundamentadas somente na hipótese de que as temperaturas subirão exclusiva e proporcionalmente ao esperado aumento das emissões antropogênicas de GEEs. Diferentemente dos resultados dos autores sendo aqui comparados, admite-se aqui que o modelo oscilatório natural possui limitações que permitem projetar, com segurança, dados somente até 2100<sup>230</sup>.

---

<sup>229</sup> Novamente, remete-se à mesma indagação suscitada na nota de rodapé nº 228.

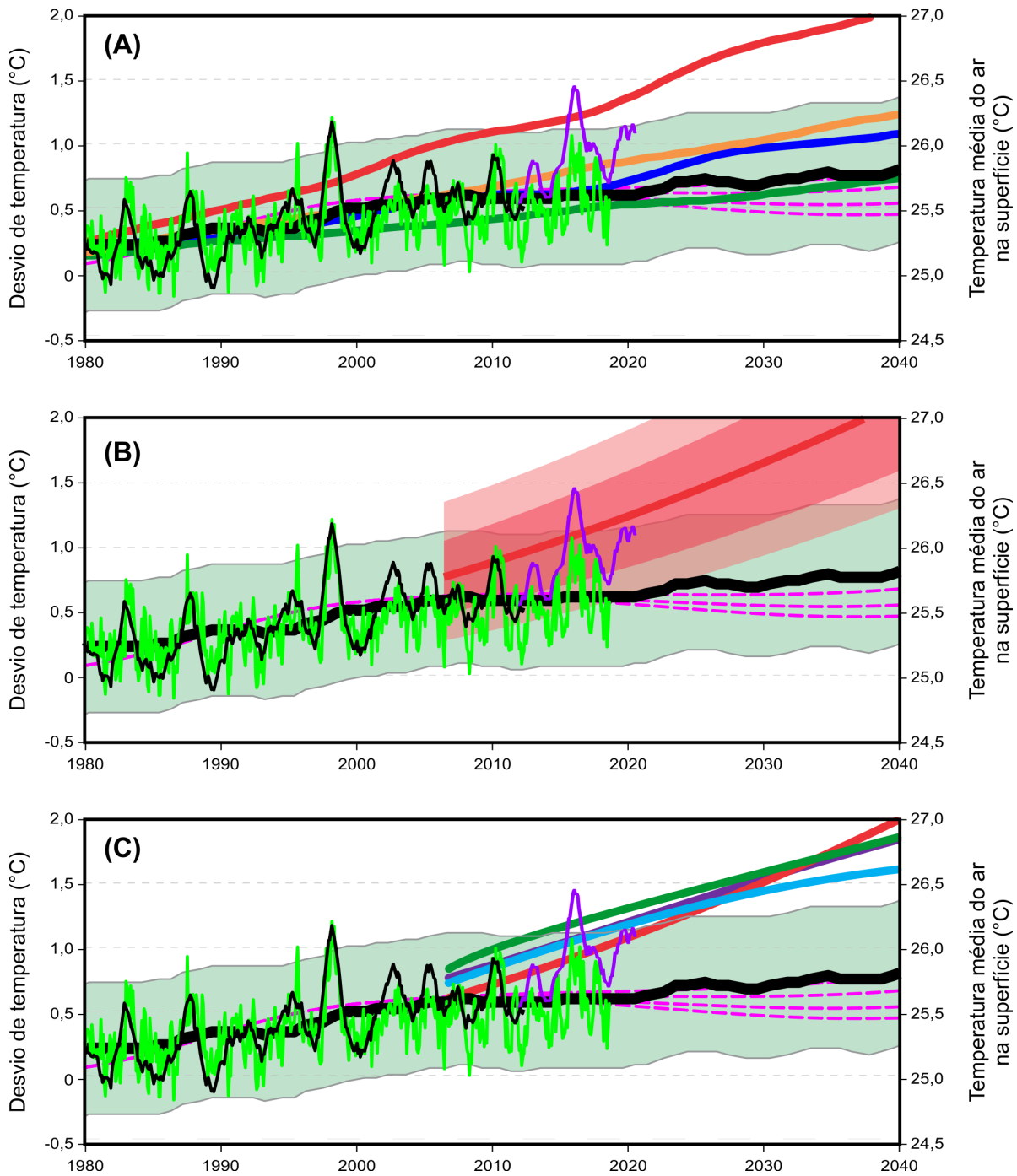
<sup>230</sup> Estatisticamente, seria possível prolongar, até 2300, as projeções do modelo natural proposto? Certamente sim. No entanto, não haveria qualquer embasamento crível para tal exercício de previsões insipientes. No mundo da matemática, das modelagens e projeções climáticas, cenários e previsões futuras são possíveis de serem calculados *ad aeternum*, conforme a vontade do cientista e da capacidade computacional disponível. No entanto, é necessário parcimônia e prudência para não oferecer situações pouco prováveis ou inverossímeis, evitando-se exageros e alarmismos impróprios que não combinam com uma Ciência responsável e equilibrada.



**Figura 197** – Observações (1850-2011) da temperatura superficial do ar no Brasil e projeções futuras, até 2300, comparativo com dados de Soares, Marengo e Nobre (2019). Legenda: média móvel de 12 meses (linha preta fina) e média móvel de 10 anos (linha verde fina) da temperatura observada do ar no Brasil, com intervalo de incerteza de 95% (área cinza); modelo de ciclos naturais associados ao modelo polinomial (linha preta grossa), acompanhado de intervalo de confiança aproximado de 90% (área verde claro); quatro modelos segundo Soares, Marengo e Nobre (2019), com projeções baseadas nos cenários RCPs (até 2100) e ECPs (até 2300): 8.5, 6.0, 4.5 e 2.6 (linhas vermelha, verde, roxa e azul); projeções arbitrárias (linhas pontilhadas rosas, de cima para baixo: previsão #1, #2, #3 e #4). Também é exibido o intervalo de dados de temperatura (1985-2017) que foi utilizado pelo autor dos modelos RCP na confecção de suas projeções (linha azul ciano claro). Fontes: observações de temperatura – Berkeley Earth (2017); projeções RCP e ECP – adaptado de Soares, Marengo e Nobre (2019), cf. Figura 77; demais projeções, com base na Figura 189, Figura 191, Figura 192, Figura 193 e Figura 194.

### 5.7.2. Validação de modelos e projeções

Por fim, para avaliação do nível de concordância entre as projeções da temperatura no Brasil, foram inseridas temperaturas atuais, relativas às observações da última década (desde 2012) que não haviam sido consideradas nos modelos elaborados no presente estudo. Então em relação à série BEST, cujo período de 1850-2011 foi analisado e modelado, foram acrescentados os valores mensais de temperatura de 2012-2020. Outra série considerada foi uma série de temperatura da baixa troposfera, denominada UAH/MSU pelo fato de ela ser fornecida pela Universidade do Alabama em Huntsville (UAH), EUA, com base em sensoriamento remoto do satélite *Microwave Sounding Unit* (MSU). Essa série tem sido utilizada em diversos trabalhos [LOEHLE e SCAFETTA (2011); SCAFETTA (2013a, 2019, 2021b); SCAFETTA; MIRANDOLA; BIANCHIN, 2017b)] como uma alternativa às séries baseadas em medições de estações climatológicas terrestres. Scafetta (2021b) afirma que o registro de temperatura da UAH/MSU pode ser usado para melhor caracterizar o aquecimento global e as mudanças climáticas desde 1979. O motivo da utilização dessa série de temperatura com medição de origem satelital fica melhor ilustrada nos gráficos contidos na **Figura 198**.



**Figura 198** – Observações (1980-2020) da temperatura superficial do ar no Brasil e projeções futuras, até 2040, comparativo com dados de **(A)** Hulme e Shear (1999), **(B)** The Climate Data Factory (2018) e **(C)** Soares, Marengo e Nobre (2019). Os gráficos são recortes, com adaptações e redimensionamentos (ampliação), obtidos a partir da Figura 195, Figura 196 e Figura 197. Legenda comum aos três gráficos: média móvel de 12 meses (linha preta fina) da temperatura observada do ar no Brasil; modelo de ciclos naturais associados ao modelo polinomial (linha preta grossa), acompanhado de intervalo de confiança aproximado de 90% (área verde claro); projeções arbitrárias (linhas pontilhadas rosas, de cima para baixo: previsão #1, #2, #3 e #4). Foram acrescentadas duas séries de temperatura: temperatura do ar da BEST, período de 2012-2020 (linha roxa) e temperatura da baixa troposfera da UAH/MSU, período 1980-2018 (linha verde claro). Legenda específica: (A) modelos segundo Hulme e Shear (1999), com projeções baseadas nos cenários SRES (A1 - linha vermelha; A2 - linha laranja; B1 - linha azul; B2 - linha verde); (B) modelo segundo The Climate Data Factory (2018), com projeção baseada no cenário RCP8.5, sem mitigação (linha vermelha), com intervalos confiança de 66% e 90% (áreas vermelho claro e azul em dois

tons cada); o cenário RCP4.5 não foi exibido no gráfico (B) para fins de melhor visualização geral. (C) modelos conforme Soares, Marengo e Nobre (2019): cenários RCPs 8.5, 6.0, 4.5 e 2.6 (linhas vermelha, verde, roxa e azul). Fontes: observações de temperatura Berkeley Earth (2017, 2020); observações da UAH/MSU foram obtidas<sup>231</sup> a partir de Spencer, Christy e Braswell (2017), com dados disponíveis em Christy e Spencer (2018); projeções SRES (gráfico A) – Hulme e Shear (1999), cf. Figura 74; projeção RCP (gráfico B) – Climate Data Factory (2018), cf. Figura 76; projeções RCP (gráfico C) – Soares, Marengo e Nobre (2019), cf. Figura 77; demais projeções, com base na Figura 189, Figura 191, Figura 192, Figura 193 e Figura 194.

O recorte temporal relativo ao período 1980-2040 fornecido na **Figura 198** proporciona uma visão detalhada das temperaturas observadas nos últimos 40 anos, bem como suas projeções futuras para os próximos 20 anos. Considerando a primeira série adicional, relativa às temperaturas observadas de 2012 a 2020 (linha roxa), conforme dados retirados de BEST (2020), percebe-se um aspecto de notável tendência ascendente nesse período. Além disso, percebe-se um pico em entre 2015-2016, este relacionado a um forte evento de El Niño [conforme indicado por Null (2021)] – tão forte quanto o evento do super El Niño de 1997-98, o mais forte registrado na história, cujo pico também é evidente nos gráficos. Ambos os respectivos picos de temperatura desses dois fortes eventos de El Niño ultrapassaram o limite de confiança de 90% do modelo proposto neste trabalho. Logo depois, as temperaturas diminuíram e voltaram a se enquadrar dentro das margens internas do citado limite.

As temperaturas mais recentes da série BEST chegam a atingir, a partir de 2019, a linha superior do limite de confiança, patamar em que tem permanecido estável por todo ano de 2020. Considerando as temperatura oriundas de série UAH/MSU (linha verde claro), é possível observar que ela possui alta correlação com a série de BEST (linha preta fina) dentro do período 1980-2011. Entretanto, com a adição da continuidade dos valores da série BEST para o período 2012-2020, constata-se uma chamativa divergência: enquanto a série BEST indicou um aumento que ultrapassou o limite superior de confiança do modelo, a série UAH/MSU apresentou valores que ficaram constrictos dentro dos limites. A discrepância<sup>232</sup> entre as temperaturas das duas séries

---

<sup>231</sup> Os dados originais, disponíveis no formato *NetCDF*, foram especialmente recortados em *software* de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) utilizando um polígono com a extensão territorial do Brasil.

<sup>232</sup> O motivo da discrepância observada entre a série BEST e a UAH/MSU a partir de 2012 é explicada pela influência das ilhas de calor urbano (ICU) como fatores contaminadores das temperaturas observadas em solo. Assim, o aquecimento dos microclimas urbanos, quando extrapolados para o nível global, podem estar incorporando um aquecimento que não corresponde a todo o planeta. Segundo Connolly et al. (2021), o viés da urbanização continua sendo um problema significativo para as estimativas atuais de tendências de temperatura. Como bem observam Loehle e Scafetta (2011), a contribuição dos efeitos das ICU em escalas maiores surgem do fato de que uma grande proporção de estações meteorológicas foram estabelecidas para servir cidades e aeroportos, com poucas estações situadas em locais remotos. Assim, os efeitos microclimáticos urbanos contaminam o registro da temperatura instrumental. Segundo os autores, cerca de 40% do aquecimento instrumental observado na China, de 1951 a 2004, foi contribuição das ICU e efeitos relacionados. Os autores ainda citam outros estudos que estimaram que cerca de metade do aquecimento global alegado pelo IPCC ser relacionado às ICU e ao uso da terra. Em uma análise das diferenças de tendência entre os dados de satélite e de superfície, Klotzbach et al. (2009) sugeriram que de 30 a 50% (com base em dados de satélite UAH) da tendência de aquecimento da superfície terrestre instrumental de 1979 a 2008 foi espúria. Por tais motivos, os autores concluem que o aquecimento desde 1950 pode ser menor do que se acredita atualmente, e os efeitos climáticos de forçamentos antropogênicos também podem estar superestimados. Nesse contexto, recente trabalho de Scafetta (2021b) ressalta a importância de

é marcante no episódio do El Niño de 2018-19, algo que não ocorreu para o episódio do El Niño de 10 anos antes. No El Niño de 2018-19, as duas séries forneceram dados bastante semelhantes, com curvas visualmente – e quase perfeitamente – sobrepostas.

Analisando o quadro geral, é possível tirar duas conclusões: quando se adota a série UAH/MSU, as projeções com menor taxa de aquecimento demonstram maior aderência aos dados observados. Inclusive, olhando minuciosamente, pode-se observar uma pausa ou hiato nas temperaturas do ar no Brasil ao considerar o período 1998-2018; por outro lado, quando se utiliza os últimos dados da série BEST relativos à década passada, as temperaturas indicam um aquecimento maior. Portanto, a utilização da série UAH/MSU corrobora e valida os modelos e projeções apresentados no presente estudo, visto que as temperaturas permanecem, até o momento, confinadas dentro do limite de confiança de 90%. Quanto à série BEST, ela apresenta pequena divergência com as projeções aqui propostas. Houve uma extrapolação dos limites de confiança com o pico em 2018-2019, mas, hoje, os valores ainda se encontram dentro dos limites, ainda que próximo do nível superior. Pelas razões apresentadas na nota de rodapé nº 232, admite-se como válidos e condizentes os argumentos apresentados e, portanto, a preferência é a utilização da série UAH/MSU como referência da evolução das temperaturas no Brasil, ficando ela validada e comprovada como adequada para tal monitoramento doravante.

Sobre a aderência das duas séries em relação aos MCGs tipicamente utilizados pelo IPCC – aqui representados pelas projeções segundo Hulme e Shear (1999), gráfico **(A)**, e projeções RCP – Climate Data Factory (2018) e Soares, Marengo e Nobre (2019), gráficos **(B)** e **(C)** da **Figura 198** – nota-se que há razoável justaposição com as projeções SRES A2, B1 e B2 (linhas laranja, azul e verde). No entanto, para os cenários A1 (linha vermelha) do gráfico **(A)**, RCP8.5 (linha vermelha) do gráfico **(B)** e todos os cenários RCP do gráfico **(C)**, as observações estão abaixo do projetado. Pelos gráficos, essa dissociação é uma evidência de que tais modelos estão superestimando um aquecimento no Brasil que não tem sido observado na realidade. Em termos numéricos, o modelo de componentes cíclicos naturais (linha preta grossa) indica um aumento da temperatura do ar no Brasil que pode chegar ao valor de +0,8 °C em 2040. Enquanto que os modelos SRES A1 [gráfico **(A)**], RCP8.5 [gráfico **(B)**] indicam, respectivamente, valores de +2,05 e +2,15 °C. Os modelos RCP [gráfico **(C)**], mesmo que apresentem valores bastante diferentes em 2100, indicam tendências similares no período até 2040, onde os valores previstos

---

investigar melhor as possíveis influências das urbanizações e outros vieses não climáticos em todo o mundo, cujo aquecimento local pode estar sendo extrapolado e indevidamente incorporado no aquecimento global. Para que os registros climáticos possam ser adequadamente fidedignos às escalas globais, e visando remover a influência das ICU em registros de temperatura do ar, o citado autor produziu um série corrigida da temperatura global da superfície. Com base nessa nova série ajustada, descobriu-se que cerca de 20% do aquecimento global da superfície relatado de 1940 a 1960 a 2000-2020 pode ser devido a vieses não climáticos, como a urbanização. O resultado foi experimentalmente confirmado pelo fato de que, desde 1979, o aquecimento observado na série corrigida de temperatura global da superfície é estatisticamente compatível com aquele mostrado pelo registro de temperatura global da baixa troposfera do satélite UAH/MSU – este que não deve ser significativamente afetado por ICU e outros vieses não climáticos de superfície.



de temperatura variam de +1,60 a +2,00 °C. De modo geral, os valores do modelos convencionais previstos para daqui 20 anos representam, na média, pouco mais do que o dobro dos valores obtidos pela projeção fundamentada nos ciclos climáticos naturais.



## CONCLUSÕES

1. A compreensão de como o clima variou no passado, por meio do resgate histórico da origem dos ciclos climáticos – sejam suas descobertas, sejam seus mecanismos físicos envolvidos – permitiu alicerçar e nortear a investigação sobre as causas naturais nas variações atuais da temperatura no Brasil.
2. Mediante análises estatísticas espectrais das séries de temperatura do ar desde 1850, foi possível identificar que a temperatura superficial do ar no Brasil possui ciclos de 4, 33 e 82 anos. Todos esses ciclos, bem conhecidos na literatura, possuem em comum a característica de serem originários de forças astronômicas lunares, solares e planetárias, cujas influências ressoam por meio de variações periódicas na radiação solar bem como na forma de oscilações oceânica-atmosféricas. No caso da temperatura do Brasil, os ciclos de 4 anos estão relacionados à oscilação oceânica-atmosférica do ENOS, de origem astronômica-lunar. Os ciclos de 33 anos estão associados ao ciclo de Brückner, de origem lunar-solar; e o ciclo de 82 anos refere-se ao ciclo inferior de Gleissberg, de origem solar.
3. Com base nos ciclos climáticos naturais constatados, o modelo oscilatório alternativo proposto favoreceu a elaboração de projeções futuras da temperatura do ar no Brasil. Conforme alguns modelos comparados, a temperatura do ar no Brasil pode atingir seguintes valores em 2100, com desvios relativos à média do período de 1951-1980.
  - Modelo oscilatório alternativo, proposto neste estudo:  $+1,8 \pm 0,6$  °C
  - Modelos convencionais, tipicamente utilizados pelo IPCC:
    - Modelo RCP4.5, com mitigação:  $+2,9 \pm 1,2$  °C
    - Modelo SRES A1:  $+3,9$  °C;
    - Modelo RCP8.5, sem mitigação:  $5,7 \pm 1,7$  °C
4. O modelo oscilatório natural proposto apresentou boa correlação com os dados observados até o momento. Seguindo a tendência prevista até 2040, o modelo projeta um aumento de  $0,8$  °C na temperatura do Brasil acima do período referencial (1951-1980). Já os modelos SRES A1 e RCP8.5 indicam, respectivamente, valores de  $2,05$

e 2,15 °C. Com base nas tendências dos modelos convencionais mais extremos, suas projeções estão acima dos níveis observados. Tal comportamento é evidência de que há superestimativa da taxa de aquecimento no Brasil prevista por tais modelos convencionais.

5. Em síntese, conclui-se: considerando a existência de diversos ciclos climáticos nas variadas escalas do tempo, a tendência recente do aumento da temperatura média global pode ser explicada em termos da combinação de alguns dos principais ciclos climáticos naturais das escalas decadal até secular. De outra forma, ao invés de atribuir o aquecimento global tão-somente à influência humana, segundo a visão do IPCC, a crescente análise de dados e o aumento de publicações estão estabelecendo e sustentando novas hipóteses de que o sistema climático é caracterizado por oscilações e ciclos climáticos que ocorrem naturalmente.

# **VOLUME 2**

**“COMPLEMENTAR”**



**VOLUME 2**

**PARTE III**

**ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO**





## VOLUME 2 – PARTE III

**APÊNDICE A****CORRESPONDÊNCIA ENTRE  
CAPÍTULOS E PUBLICAÇÕES**

CAPÍTULO	PUBLICAÇÕES
<b>CAPÍTULO 1</b> – CICLOS CLIMÁTICOS: Filosofia, História e Ciência do Clima – Métodos e Origens dos Estudos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• OLIVEIRA, M.J.; BAPTISTA, G.M.M.; CARNEIRO, C.D.R.; VECCHIA, F.A.S. História geológica e Ciência do Clima: métodos e origens do estudo dos ciclos climáticos na Terra. <i>Terrae</i>, v. 12, n. 1-2, p. 03-26, 2015. Disponível em: <a href="https://www.researchgate.net/publication/337330731_Historia_geologica_e_Ciencia_do_clima_metodos_e_origens_do_estudo_dos_ciclos_climaticos_na_Terra">https://www.researchgate.net/publication/337330731_Historia_geologica_e_Ciencia_do_clima_metodos_e_origens_do_estudo_dos_ciclos_climaticos_na_Terra</a>   ou   <a href="http://www.ige.unicamp.br/terrae/V12/T_V12_1.html">http://www.ige.unicamp.br/terrae/V12/T_V12_1.html</a> – Acesso em: 30 jun. 2017.</li> </ul>
<b>CAPÍTULO 2</b> – CICLOS CLIMÁTICOS: Causas Naturais de Mudanças Climáticas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• OLIVEIRA, M.J.; CARNEIRO, C.D.R.; VECCHIA, F.A.S.; BAPTISTA, G.M.M. Ciclos climáticos e causas naturais das mudanças do clima. <i>Revista Terrae Didática</i>, v. 13, p. 149-184, 2018. Disponível em: <a href="https://www.researchgate.net/publication/322643269_Ciclos_climaticos_e_causas_naturais_das_mudancas_do_clima">https://www.researchgate.net/publication/322643269_Ciclos_climaticos_e_causas_naturais_das_mudancas_do_clima</a>   ou   <a href="https://doi.org/10.20396/td.v13i3.8650958">https://doi.org/10.20396/td.v13i3.8650958</a> – Acesso em: 05 abr. 2021.</li> <li>• OLIVEIRA, M.J.; VECCHIA, F.A.S. Ciclos Climáticos e Causas Naturais de Mudanças do Clima. //: XIV Simpósio do Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental (PPG-SEA), 14, 2015, Itirapina/SP. <i>Anais [...]</i>. São Carlos: EESC/USP, 2015. p. 107-121. Disponível em: <a href="https://www.researchgate.net/publication/358413277_Ciclos_Climaticos_e_Causas_Naturais_de_Mudancas_do_Clima">https://www.researchgate.net/publication/358413277_Ciclos_Climaticos_e_Causas_Naturais_de_Mudancas_do_Clima</a> – Acesso em: 05 abr. 2021.</li> </ul>
<b>CAPÍTULO 3</b> – CICLOS CLIMÁTICOS: Retrospectiva Histórica, Conjuntura Atual e Nova Perspectiva ao Recente Aquecimento Global	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Não publicado</li> </ul>
<b>CAPÍTULO 4</b> – SÉRIES TEMPORAIS: Métodos de Análise – Histórico, Conceitos e Ferramentas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Não publicado</li> </ul>
<b>CAPÍTULO 5</b> – SÉRIES TEMPORAIS: Resultados – Modelagem e Previsão de Séries de Temperatura do A	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Não publicado</li> </ul>
<b>APÊNDICE A</b> – Correspondência entre Capítulos e Publicações	<ul style="list-style-type: none"> <li>• (Não se aplica)</li> </ul>
<b>APÊNDICE B</b> – MUDANÇAS CLIMÁTICAS: Conceituação e Problemática	<ul style="list-style-type: none"> <li>• OLIVEIRA, M.J.; VECCHIA, F.A.S.; CARNEIRO, C.D.R. Mudanças Climáticas. //: CALJURI, M.C.; CUNHA, D.G.F. (orgs.). <i>Engenharia Ambiental: Conceitos, Tecnologia e Gestão</i>. 2 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2019, Cap. 16, p. 299-321. [ISBN: 978-85-352-9047-9]. Disponível em: <a href="https://www.researchgate.net/publication/358413668_Mudancas_Climaticas">https://www.researchgate.net/publication/358413668_Mudancas_Climaticas</a> – Acesso em: 05 abr. 2021.</li> <li>• OLIVEIRA, M.J.; VECCHIA, F.A.S. Mudanças Climáticas. //: CALJURI, M.C.; CUNHA, D.G.F. (orgs.). <i>Engenharia Ambiental: Conceitos, Tecnologia e Gestão</i>. 1 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013, Cap. 16, p. 367-400. [ISBN 978-85-352-5954-4] Disponível em: <a href="https://www.researchgate.net/publication/358413250_Mudancas_Climaticas">https://www.researchgate.net/publication/358413250_Mudancas_Climaticas</a> – Acesso em: 05 abr. 2021.</li> </ul>
<b>APÊNDICE C</b> – MUDANÇAS CLIMÁTICAS: Evolução do Interesse Mundial pelo Tema	<ul style="list-style-type: none"> <li>• OLIVEIRA, M.J.; VECCHIA, F.A.S.; CARNEIRO, C.D.R. Evolução (2004-2017) do interesse mundial pelas mudanças climáticas e aquecimento global: influência da ciência, mídia, política, economia e controvérsias. <i>Revista Científica ANAP Brasil</i>, v. 10, p. 92-120, 2017. Disponível em: <a href="https://www.researchgate.net/publication/321952351_Evolucao_2004-2017_do_interesse_mundial_pelas_mudancas_climaticas_e_aquecimento_global_influencia_da_ciencia_midia_politica_economia_e_controversias">https://www.researchgate.net/publication/321952351_Evolucao_2004-2017_do_interesse_mundial_pelas_mudancas_climaticas_e_aquecimento_global_influencia_da_ciencia_midia_politica_economia_e_controversias</a>   ou   <a href="http://dx.doi.org/10.17271/19843240102020171667">http://dx.doi.org/10.17271/19843240102020171667</a> – Acesso em: 05 abr. 2021.</li> </ul>

<p><b>APÊNDICE D</b> – MUDANÇAS CLIMÁTICAS: Motivação pela Educação e Popularização da Ciência</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• OLIVEIRA, M.J.; VECCHIA, F.A.S.; CARNEIRO, C.D.R. A Educação no contexto do Aquecimento Global: da “Eco-ansiedade” ao Raciocínio Crítico e Literacia Climática. //: MORALES, A.G.; RIGOLDI, A.G.M.; DIAS, L.S. (Org.). <b>Educação Ambiental: Reflexões e Experiências</b>. 1 ed. Tupã/SP: ANAP, 2016, p. 22-37. Disponível em: <a href="https://www.researchgate.net/publication/336653672_A_EDUCACAO_NO_CONTEXTO_DO_AQUECIMENTO_GLOBAL_DA_ECO-ANSIEDADE_AO_RACIOCINIO_CRITICO_E_LITERACIA_CLIMATICA">https://www.researchgate.net/publication/336653672_A_EDUCACAO_NO_CONTEXTO_DO_AQUECIMENTO_GLOBAL_DA_ECO-ANSIEDADE_AO_RACIOCINIO_CRITICO_E_LITERACIA_CLIMATICA</a> – Acesso em: 05 abr. 2021.</li> <li>• OLIVEIRA, M.J.; VECCHIA, F.A.S.; CARNEIRO, C.D.R. A Educação no Contexto do Aquecimento Global: da Ignorância e Analfabetismo Científico ao Raciocínio Crítico e Literacia Climática. <b>Fórum Ambiental da Alta Paulista</b>, v. 11, p. 287-310, 2015. Disponível em: <a href="https://www.researchgate.net/publication/288322902_A_EDUCACAO_NO_CONTEXTO_DO_AQUECIMENTO_GLOBAL_DA_IGNORANCIA_E_ANALFABETISMO_CIENTIFICO_AO_RACIOCINIO_CRITICO_E_LITERACIA_CLIMATICA">https://www.researchgate.net/publication/288322902_A_EDUCACAO_NO_CONTEXTO_DO_AQUECIMENTO_GLOBAL_DA_IGNORANCIA_E_ANALFABETISMO_CIENTIFICO_AO_RACIOCINIO_CRITICO_E_LITERACIA_CLIMATICA</a>   ou   <a href="http://dx.doi.org/10.17271/1980082711420151292">http://dx.doi.org/10.17271/1980082711420151292</a> – Acesso em: 05 abr. 2021.</li> </ul>
<p><b>APÊNDICE E</b> – ANÁLISE HARMÔNICA: Breve Retrospectiva Histórica</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Não publicado</li> </ul>
<p><b>APÊNDICE F</b> – MATERIAL: Obtenção e Avaliação de Séries de Temperatura do Ar no Brasil</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• OLIVEIRA, M.J.; BAPTISTA, G.M.M.; MACHADO, W.P. A expansão urbana como processo de “transformação” de estações climatológicas rurais em urbanas. //: XV Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada (SBGFA), 15, 2013, Vitória/ES. <b>Anais [...]</b>. Vitória/ES: UFES, 2013. v. 15. p. 109-118. Disponível em: <a href="https://www.researchgate.net/publication/326007452_A_expansao_urbana_como_processo_de_transformacao_de_estacoes_climatologicas_rurais_em_urbanas">https://www.researchgate.net/publication/326007452_A_expansao_urbana_como_processo_de_transformacao_de_estacoes_climatologicas_rurais_em_urbanas</a> – Acesso em: 05 abr. 2021.</li> <li>• OLIVEIRA, M.J.; BAPTISTA, G.M.M. Temperatura do ar no Brasil: Análise preliminar de dados obtidos na rede do INMET, de 1961 a 2011. //: XVII Congresso Brasileiro de Meteorologia, 17, 2012, Gramado. <b>Anais [...]</b>. Gramado, 2012. Disponível em: <a href="https://www.researchgate.net/publication/358414411_Temperatura_do_ar_no_Brasil_Analise_preliminar_de_dados_obtidos_na_rede_do_INMET_de_1961_a_2011">https://www.researchgate.net/publication/358414411_Temperatura_do_ar_no_Brasil_Analise_preliminar_de_dados_obtidos_na_rede_do_INMET_de_1961_a_2011</a> – Acesso em: 05 abr. 2021.</li> <li>• OLIVEIRA, M.J.; BAPTISTA, G.M.M.; MACHADO, W. P. Distribuição e representatividade espacial da rede brasileira de estações climatológicas do INMET para uso potencial dos dados de temperatura do ar. //: XVII Congresso Brasileiro de Meteorologia, 17, 2012, Gramado. <b>Anais [...]</b>. Gramado, 2012. Disponível em: <a href="https://www.researchgate.net/publication/358414492_Distribuicao_e_representatividade_espacial_da_rede_brasileira_a_de_estacoes_climatologicas_do_INMET_para_uso_potencial_dos_dados_de_temperatura_do_ar">https://www.researchgate.net/publication/358414492_Distribuicao_e_representatividade_espacial_da_rede_brasileira_a_de_estacoes_climatologicas_do_INMET_para_uso_potencial_dos_dados_de_temperatura_do_ar</a> – Acesso em: 05 abr. 2021.</li> <li>• OLIVEIRA, M.J.; BAPTISTA, G.M.M.; MACHADO, W. P. Evolução temporal da localização média da temperatura do ar obtida em estações da rede do INMET. <b>Revista GeoNorte</b>, v. 1, p. 573-584, 2012. Disponível em: <a href="https://www.researchgate.net/publication/280495714_Evolucao_Temporal_da_Localizacao_Media_da_Temperatura_do_Ar_obtida_em_Estacoes_da_Rede_do_INMET">https://www.researchgate.net/publication/280495714_Evolucao_Temporal_da_Localizacao_Media_da_Temperatura_do_Ar_obtida_em_Estacoes_da_Rede_do_INMET</a> – Acesso em: 05 abr. 2021.</li> <li>• OLIVEIRA, M.J.; ALVARES, C.A.; VECCHIA, F.A.S. Temperatura do ar no Brasil desde 1832: comparação dos dados do INMET, HadCRUT4 e BEST. //: XVIII Congresso Brasileiro de Meteorologia (CBMET), 2014, Recife. <b>Anais [...]</b>. Recife, 2014. Disponível em: <a href="https://www.researchgate.net/publication/358415027_Temperatura_do_ar_no_Brasil_desde_1832_comparacao_dos_dados_do_INMET_HadCRUT4_e_BEST">https://www.researchgate.net/publication/358415027_Temperatura_do_ar_no_Brasil_desde_1832_comparacao_dos_dados_do_INMET_HadCRUT4_e_BEST</a> – Acesso em: 05 abr. 2021.</li> </ul>
<p><b>APÊNDICE G</b> – MATERIAL: Séries de Temperatura do Ar (Global e no Brasil)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• (Não se aplica)</li> </ul>
<p><b>APÊNDICE H</b> – MATERIAL: Códigos de Programação</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Não publicado</li> </ul>
<p><b>APÊNDICE I</b> – MUDANÇAS CLIMÁTICAS: Ensaio Estendido sobre Repercussões Políticas, Econômicas e Sociais</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Não publicado</li> </ul>

**VOLUME 2**

**PARTE IV**

**ABORDAGEM TEÓRICA E CONCEITUAL:**

**Contextualização**



## VOLUME 2 – PARTE IV

**APÊNDICE B****MUDANÇAS CLIMÁTICAS:****Conceituação e Problematização**

**Observação:** nesta versão corrigida da Tese, suprimiu-se o texto do presente item. Alternativamente, o conteúdo pode ser consultado, na íntegra, em sua publicação original, conforme referência:

- OLIVEIRA, M.J.; VECCHIA, F.A.S.; CARNEIRO, C.D.R. Mudanças Climáticas. *In*: CALIJURI; M.C.; CUNHA, D.G.F. (orgs.). **Engenharia Ambiental: Conceitos, Tecnologia e Gestão**. 2 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2019, Cap. 16, p. 299-321. [ISBN: 978-85-352-9047-9]. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/358413668\\_Mudancas\\_Climaticas](https://www.researchgate.net/publication/358413668_Mudancas_Climaticas) – Acesso em: 05 abr. 2021.



## VOLUME 2 – PARTE IV

**APÊNDICE C****MUDANÇAS CLIMÁTICAS:****Evolução do Interesse Mundial pelo Tema**

**Observação:** nesta versão corrigida da Tese, suprimiu-se o texto do presente item. Alternativamente, o conteúdo pode ser consultado, na íntegra, em sua publicação original, conforme referência:

- OLIVEIRA, M.J.; VECCHIA, F.A.S.; CARNEIRO, C.D.R. Evolução (2004-2017) do interesse mundial pelas mudanças climáticas e aquecimento global: influência da ciência, mídia, política, economia e controvérsias. **Revista Científica ANAP Brasil**, v. 10, p. 92-120, 2017. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/321952351\\_Evolucao\\_2004-2017\\_do\\_interesse\\_mundial\\_pelas\\_mudancas\\_climaticas\\_e\\_aquecimento\\_global\\_influencia\\_da\\_ciencia\\_midia\\_politica\\_economia\\_e\\_controversias](https://www.researchgate.net/publication/321952351_Evolucao_2004-2017_do_interesse_mundial_pelas_mudancas_climaticas_e_aquecimento_global_influencia_da_ciencia_midia_politica_economia_e_controversias) | ou | <http://dx.doi.org/10.17271/19843240102020171667> – Acesso em: 05 abr. 2021.





## VOLUME 2 – PARTE IV

**APÊNDICE D****MUDANÇAS CLIMÁTICAS:****Motivação pela Educação e Popularização da Ciência**

**Observação:** nesta versão corrigida da Tese, suprimiu-se o texto do presente item. Alternativamente, o conteúdo pode ser consultado, na íntegra, em sua publicação original, conforme referência:

- OLIVEIRA, M.J.; VECCHIA, F.A.S.; CARNEIRO, C.D.R. A Educação no contexto do Aquecimento Global: da “Eco-ansiedade” ao Raciocínio Crítico e Literacia Climática. *In*: MORALES, A.G.; RIGOLDI, A.G.M.; DIAS, L.S. (Org.). **Educação Ambiental: Reflexões e Experiências**. 1 ed. Tupã/SP: ANAP, 2016, p. 22-37. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/336653672\\_A\\_EDUCACAO\\_NO\\_CONTEXTO\\_DO\\_AQUECIMENTO\\_O\\_GLOBAL\\_DA\\_ECO-ANSIEDADE\\_AO\\_RACIOCINIO\\_CRITICO\\_E\\_LITERACIA\\_CLIMATICA](https://www.researchgate.net/publication/336653672_A_EDUCACAO_NO_CONTEXTO_DO_AQUECIMENTO_O_GLOBAL_DA_ECO-ANSIEDADE_AO_RACIOCINIO_CRITICO_E_LITERACIA_CLIMATICA) – Acesso em: 05 abr. 2021.



**VOLUME 2**

**PARTE V**

**ABORDAGEM HISTÓRICA E FILOSÓFICA:**

**Origens da Análise Harmônica  
(Técnicas Estatísticas)  
e da Harmonia**



## VOLUME 2 – PARTE V

**APÊNDICE E****ANÁLISE HARMÔNICA:****Breve Retrospectiva Histórica****E.1. INTRODUÇÃO<sup>233</sup>**

No âmbito das *análises de séries temporais* periódicas, decorrem os temas sobre *análise harmônica* e termos correlatos (*análise de Fourier* e *análise espectral*). Uma perspectiva esclarecedora da análise harmônica pode ser obtida através do estudo de suas raízes históricas. Processos cíclicos, ou recorrentes, observados em fenômenos naturais, que instilaram nos seres humanos desde os primeiros tempos, são conceitos básicos que estão incorporados até hoje na análise harmônica moderna. Com origem remetendo a pensamentos de antigos filósofos gregos, nota-se que houve uma forte conexão entre avanços mútuos nas áreas da Matemática e da Música<sup>234</sup>.

Sem realizar uma análise matemática explícita, as civilizações antigas foram capazes de planejar calendários e medidas de tempo a partir de suas observações das periodicidades da duração do dia, duração do ano, mudanças sazonais, fases da lua e dos movimentos de outros corpos celestes, como os planetas. Nesse contexto, a Astronomia é provavelmente a mais antiga de todas as Ciências, visto que a abóbada celeste tem atraído a atenção do homem desde muito cedo, tanto por sua beleza sumptuosa quanto por seu

instigante mistério. Todos os dias, o Sol nascia e se escurecia, as fases da Lua vinham sucessivamente e as mesmas estrelas reapareciam periodicamente. A persistência desses movimentos está na origem das leis nas quais foram baseadas as civilizações que seguiram o ritmo do céu. Assim, desde o princípio, quando as pessoas começaram a contemplar os céus, elas perceberam a “música” e a “harmonia” nos ciclos imponentes dos movimentos celestes.

**E.1.1. Motivação inicial: compreensão da natureza e do Universo<sup>235</sup>**

A atividade do homem, seja considerada do ponto de vista individual ou do ponto de vista social, exige um conhecimento, tão completo quanto possível, do mundo que o rodeia. Não basta conhecer os fenômenos. Importa compreender os fenômenos, determinar as razões de sua produção, descortinar as ligações de um com os outros. Nisto, na investigação do “como?” e do “porquê?”, distingue-se fundamentalmente a atividade do homem da dos outros animais.

<sup>233</sup> Privilegia-se aqui uma abordagem associada entre o estudo dos fundamentos teóricos e também alguns detalhes sobre o contexto histórico no qual Fourier desenvolveu sua teoria do calor. Sob tal enfoque, corroborando com o entendimento de Pifer e Aurani (2015), permite-se explorar o caráter não apenas criativo do cientista, mas também compreender que o conhecimento é fruto de um processo gradual de construção, inclusive sob influência fatores políticos e sociais atuantes em cada época. A história da evolução da Ciência possui um aspecto diferenciado: ela pode ensinar mais sobre o real processo científico do que qualquer manual de metodologia. Ao apresentar os raciocínios e deduções adjacentes às famosas fórmulas finais, enfatiza-se que a obtenção destas resultam de esforço coletivo, continuamente dedicado no processo de uma descoberta, que pode levar décadas para sua concretização e consolidação.

<sup>234</sup> Sugere-se, como trabalhos esclarecedores, algumas abordagens diferenciadas fornecidas pelos seguintes autores: um primeiro artigo, mais enxuto e introdutório, voltado ao ensino de Ciências e Matemáticas, os autores Silva e Groenwald (2018) apresentam a breve história da relação e evolução de Matemática e Música através dos tempos; no artigo “*Um olhar físico sobre a teoria musical*”, os autores Dantas e Cruz (2019) se aprofundam nos diversos conceitos físicos no contexto da teoria

musical, na produção e combinações (rítmicas, melódicas e harmônicas) de sons musicais, tanto da linguagem musical quanto da linguagem física; na dissertação de Mestrado intitulada “*Matemática e Música - De Pitágoras aos dias de hoje*”, Pereira (2013) fornece uma síntese introdutória sobre o histórico do desenvolvimento da Matemática e da Música, incluindo conceitos matemáticos desenvolvidos por Pitágoras, tópicos em acústica, conceitos e exemplos de funções trigonométricas, bem como ilustra o uso de programas computacionais destinados ao ensino-aprendizagem da Matemática; no artigo “A Matemática e a Música”, o autor Rodrigues (1999) ressaltar detalhes históricos embasados em célebres frases e amostras de documentos, associando-os com a evolução do raciocínio matemático e de seus conceitos aplicados à música; e, por fim, no artigo “O ateliê musical de Claudio Ptolomeu”, Gasmão (2013) investigou, em profundidade, a abordagem de ptolomeica em sua obra *Harmônica*, contemplando as interseções com as duas concepções controversas da época, pitagórica e aristoxeniana, como diferentes métodos de investigação da música.

<sup>235</sup> Este tópico consiste em excertos, com adaptações, retirados e adaptados de Caraça (1951).

Quanto mais alto for o grau de compreensão dos fenômenos naturais e sociais, melhor o homem poderá se defender dos perigos que o rodeiam, e maior será o seu domínio sobre a natureza e as suas forças hostis. Consequentemente, ao facilitar a realização do conjunto de atos que concorrem para a sua segurança e para o desenvolvimento de sua personalidade, o homem garantirá, enfim, sua maior liberdade.

A inteligibilidade do universo, considerado o termo *universo* no seu significado mais geral – *mundo cósmico* e *mundo social* – é, por consequência, uma condição necessária da vida humana. Compreende-se portanto que, desde há muitos séculos, tenham sido realizados notáveis esforços no sentido de atingir uma parcela de verdade sobre a realidade. Pensando no universo e procurando compreender os fenômenos naturais e sociais, descobrir suas razões e ligações, os primeiros pensadores foram levados a propor as seguintes questões fundamentais:

1. A natureza apresenta-nos diversidade e pluralidade: de aspectos, de formas, de propriedades, etc. Existe, no entanto, para além dessa diversidade aparente, um princípio único, ao qual tudo se reduza?
2. Qual é a estrutura do universo? Como ele foi criado? Como se movem os astros e por quê?

Buscando respostas para as perguntas, as primeiras considerações vieram dos filósofos das colônias jônicas da Ásia Menor, principalmente de Mileto, e foram afirmativas, diferindo apenas na natureza do princípio ou do elemento único ao qual tudo devia reduzir-se.

Para Tales de Mileto<sup>236</sup> [624–548 a.C.], a água seria esse elemento único. “*Tudo é água!*”, afirmação de que hoje poderia provocar um sorriso desdenhoso, mas que, aos olhos de um observador que disse isso há 25 séculos, apresentava razões fortes de verdade ao notar, não só o quanto a água é

indispensável à germinação das plantas e, de uma maneira geral, à existência da vida, mas ainda a facilidade com que a água passava pelos três estados físicos habituais – sólido (gelo), líquido e gasoso (vapor d’água).

Para Anaximandro de Mileto<sup>237</sup> [610–546 a.C.], existia uma substância primordial e infinita, porém, indeterminada e desconhecida. Assim, todas as coisas materiais seriam formadas por determinações parciais desse elemento fundamental – o “indeterminado”, que, na concepção de Anaximandro, era “*sem morte e sem corrupção*”, “*começo e origem do existente*”.

Como ponto de partida para o processo cósmico, no lugar do indeterminado infinito de Anaximandro, Anaxímenes de Mileto<sup>238</sup> [586–526 a.C.] admitia a existência de uma substância primordial que não é indeterminada, se bem que “infinita”: o ar<sup>239</sup>. Anaxímenes dizia que “*quando o ar se dilata de maneira a ficar rarefeito, torna-se fogo; enquanto que, por outro lado, os ventos são ar condensado. As nuvens formam-se do ar amassado, e quando se condensam ainda mais, tornam-se água. A água continuando a condensar-se, torna-se terra; e quando se condensa o mais que pode ser, torna-se pedra*”. Assim, por um processo de rarefação e condensação, era percorrido o ciclo do que os primeiros filósofos chamavam os *quatro elementos* – terra, água, ar, fogo.

Tales, Anaximandro e Anaxímenes explicavam a multiplicidade dos fenômenos como decorrente de um princípio material único: no caso de Tales, a água; no de Anaximandro, o indeterminado; e no de Anaxímenes, o ar. Diferente dos filósofos que o precederam, o filósofo Heráclito de Éfeso<sup>240</sup> [535–475 a.C.], sobre a pergunta feita, enunciou sua resposta de maneira profundamente original: enquanto para os filósofos jônicos, a explicação se baseava na existência de uma substância primordial, permanente, para Heráclito, o aspecto essencial da realidade seria a *transformação* que as coisas estão *permanentemente* sofrendo pela ação do fogo. Em outras palavras, o mundo dos filósofos de Mileto era um mundo de permanência, da matéria; já o mundo de Heráclito era o mundo dinâmico da transformação incessante, do *devenir*<sup>241</sup>.

<sup>236</sup> Tales de Mileto [624–548 a.C.] foi um Matemático, Astrônomo e Filósofo pré-socrático grego, considerado como um dos “sete sábios da Grécia” e como “o primeiro filósofo da tradição grega”. Historicamente, ele é reconhecido como o primeiro indivíduo na civilização ocidental por se envolver na Filosofia Científica. Assim, é conhecido por romper com o uso da mitologia para explicar o mundo e o universo; ao invés, Tales explicava os objetos e fenômenos naturais por meio de teorias e hipóteses, sendo, assim, um precursor da Ciência Moderna.

<sup>237</sup> Anaximandro de Mileto [610–546 a.C.] é um Filósofo pré-socrático, do século VI a.C., que foi discípulo do primeiro filósofo, Tales de Mileto. De Tales não restou nenhum fragmento escrito, mas de seu sucessor restou o único fragmento de texto, conhecido como *sentença de Anaximandro*, o primeiro texto escrito na história da filosofia e do pensamento ocidental (ROSSETTI, 2010).

<sup>238</sup> Anaxímenes de Mileto<sup>238</sup> [586–526 a.C.] foi um filósofo pré-socrático da Grécia Antiga, ativo na segunda metade do século VI a.C. Os detalhes de sua vida são obscuros porque nenhum de seus trabalhos foi preservado. As ideias e filosofias de Anaxímenes são conhecidas apenas hoje por causa dos comentários feitos por Aristóteles e outros escritores sobre a história da filosofia grega.

<sup>239</sup> Antes de denotar ar atmosférico, a palavra grega *aer* significava “névoa” ou “vapor”. Anaxímenes deve ter escolhido esse princípio por causa de sua estreita associação com o ciclo atmosférico de evaporação e condensação. Ele parece ter tomado esse ciclo como o paradigma para entender as mudanças físicas em geral e explicar a origem da ordem física do mundo: todas as coisas são derivadas do ar por serem condensadas pelo resfriamento ou rarefeitas pelo aquecimento (KAHN; HERACLITUS, 1971).

<sup>240</sup> Ver nota de rodapé n. 48.

<sup>241</sup> “O *devenir* do mundo”, segundo Caraga (1951), p. 67, é:

(...) o aspecto fundamental que a realidade nos apresenta e aquele, portanto, ao qual se deve prender a razão ao procurar uma explicação racional do mundo; é estarem constantemente as coisas transformando-se umas nas outras. Morte e vida unem-se, formando um processo único de evolução – *o fogo vive a morte do ar e o ar vive a morte do fogo, a água vive a morte da terra e a terra vive a morte da água*. Assim a morte não significa destruição, ruína, mas fonte de uma nova vida: a todo o

De onde resulta o devir? Por que as coisas se transformam constantemente? Heráclito acreditava em um princípio universal de conflito, de tensão de contrários, que a todo momento rompe o equilíbrio para criar um equilíbrio novo – que “*a luta é o pai de todas as coisas e o rei de todas as coisas; de alguns fez deuses; de alguns, homens; de alguns, escravos; e de outros, homens livres*”. Heráclito também afirmava que “*os homens não sabem como o que varia é concorde consigo próprio; há uma harmonia das tensões opostas, como a do arco e da lira*”.

A partir do séc. 6 a.C., na Grécia existiu e exerceu grande influência uma seita de objetivos místicos e científicos, denominada Escola Pitagórica, sendo Pitágoras o fundador. Em relação às questões “Existe um princípio único de tudo? Qual é a estrutura do universo e como ele foi criado?”, a escola pitagórica, de todas as anteriores, se distingue no seguinte sentido: profundamente original, ela se afirmava que o motivo essencial da explicação racional das coisas estava nas diferenças de quantidade e de arranjo de forma, no *número* e na *harmonia*. Filolau de Crotona<sup>242</sup> (470 – c. 385 a.C.), um dos mais destacados representantes da escola pitagórica, afirmava que “todas as coisas têm um número e nada se pode compreender sem o número”. Ele se expressa sobre essa afirmação dizendo que “uma das ideias mais grandiosas e mais belas que, até hoje tem sido emitida na história da Ciência – a de que a compreensão do Universo consiste no estabelecimento de relações entre números, isto é, de leis matemáticas, nos coloca sob o aparecimento da ideia luminosa de uma ordenação matemática do Cosmos”. Com base em Ribeiro (2010), destaca-se alguns aspectos importantes da doutrina pitagórica:

1. O número é o princípio de tudo. O número como origem de tudo, o princípio primordial, o que é essencial para o bom entendimento da teoria das proporções geométricas (não valendo para grandezas incomensuráveis);
2. A questão da harmonia, de onde se originou a teoria musical dos pitagóricos, com a intenção de mostrar que a combinação de sons e suas relações obedecem

momento a morte atua e a vida surge. Daqui resulta que é impossível, num dado instante, atingir a *permanência*, a *estabilidade*, seja o que for; tudo *flui*; tudo *devém*, a todo o momento, uma coisa nova – “*tu não podes descer duas vezes ao mesmo rio, porque novas águas correm sempre sobre ti*”. Mas, se assim é, as coisas, ao mesmo tempo, *são e não são* elas próprias, e o mesmo processo de evolução nos atinge a nós – “*somos e não somos*” – transformamo-nos constantemente.

<sup>242</sup> Filolau de Crotona (470 – c. 385 a.C.) era um filósofo grego pitagórico e pré-socrático. Sabe-se muito pouco sobre a vida de Filolau: ele foi sucessor e organizador das ideias de Pitágoras, sendo o primeiro dos pensadores pitagóricos que deixou alguns escritos (fragmentos). Filolau argumentou que, no fundamento de tudo, está o papel do limitador e do ilimitado, que se combinam em *harmonia* (ver nota de rodapé n. 250).

<sup>243</sup> Combinar, do latim *combinare*, significa: unir (diversas coisas) de modo a formar um todo harmônico ou produzir um certo efeito. [Exemplos: combinar vários ingredientes; combinar as cores das roupas; combinar (dois ou mais elementos) para

a leis numéricas de cuja harmonia depende a beleza da arte musical;

3. A ideia de que o número é, também, guia do conhecimento, parece um vestígio do ritual dos mistérios, onde o iniciado tem um guia que o protege e orienta até seu um triunfo final; e
4. Na Matemática dos pitagóricos, espera-se encontrar uma fusão inseparável entre o número, a figura geométrica e os elementos místicos e musicais.

## E.2. ANÁLISE HARMÔNICA

O que é uma *análise*? E o que é *harmonia*? Essas duas simples perguntas guiaram uma profunda busca pela origem dos primeiros registros contendo seus significados e contextos históricos associados. Preferencialmente ordenado a partir do período mais antigo e prosseguindo para o período mais recente, apresenta-se, nos itens seguintes, um breve resumo da vida e ideias de ilustres Filósofos, Pensadores e Cientistas que, em seus respectivos períodos, contribuíram na evolução da concepção da *análise harmônica*, desde seus princípios até as aplicações atuais.

### E.2.1. Conceitos preliminares: *Combinação*<sup>243</sup>, *Análise*<sup>244</sup> e *Harmonia*

Desde os primórdios, a combinação é uma operação relativamente natural ao homem. Exemplos: um pastor pode definir que 1 rebanho = 3 cabras + 1 bode + 10 ovelhas; uma quantia de dinheiro pode ser decomposta e representada por tipos de cédulas (R\$ 23,00 = 2 notas de R\$ 10,00 + 1 nota de R\$ 2,00 + 1 nota de R\$ 1,00); uma substância química pode ser analisada conforme sua fórmula e composição atômica (glicose, C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub> = 6 átomos de carbono + 12 de átomos hidrogênio + 6 átomos de oxigênio); uma música pode ser decomposta em notas e

formar um composto químico com propriedades diferentes (O hidrogênio se combina com o oxigênio, formando a água)] (DICIONÁRIO NORMATIVO VALENCIANO, 2021).

<sup>244</sup> Análise, do latim *analysis* e do grego *análisis*, refere-se a: separação de partes de um todo para conhecer os elementos que o constituem (Exemplo: eles fizeram uma análise de meteoritos para determinar seus componentes.); estudo crítico de um texto, discurso, teoria etc. para entendê-los (Ex.: leremos o texto e procederemos a sua análise); em Química, um processo que permite determinar a composição de uma substância ou corpo (Ex.: a análise pode ser qualitativa ou quantitativa); [em Medicina]: estudo de uma substância ou tecido no corpo para estabelecer um diagnóstico (Ex.: análise clínica); [em Filosofia]: um método que permite chegar a noções simples a partir de uma noção composta; [em Linguística]: decomposição e estudo dos elementos de uma unidade linguística (Ex.: análise sintática de uma frase); [em Computação]: decompor partes de um problema para ver possíveis soluções. (DICIONÁRIO DA REAL ACADEMIA GALEGA, 2021).

representada de diferentes formas; um texto pode ser decomposto em frases, as frases em palavras, e as palavras em sílabas ou em letras (OLIVEIRA, 2007).

O processo de análise ou decomposição facilita contar, processar, verificar, inspecionar, vistoriar, modificar, conhecer, entre outras operações. Sob o enfoque da decomposição, muitos fenômenos naturais, propriedades químicas e físicas podem ser melhor compreendidos. Uma substância pode ser decomposta em moléculas, átomos, partículas elementares, ou até em subpartículas. Não existe, portanto, uma representação preferível e uniformemente superior em determinada situação, pois tudo depende do que pretende-se analisar. Assim, o nível adequado da decomposição ao fenômeno a ser estudado depende muito fortemente das questões que se procura responder.

No campo da Matemática, o conceito de somar uma quantidade infinita de números remonta às ideias originais de Arquimedes<sup>245</sup>, que provavelmente foi o primeiro a divisar o “método da exaustão”<sup>246</sup>, o qual permite atribuir significado numérico (convergência) a tais somas. O uso de processos que tendem ao infinito efetuado por Arquimedes,

com sequências de aproximações finitas da área do círculo por polígonos, permitiu a obtenção de uma aproximação muito precisa do número  $\pi$  ( $\pi^{247}$ , entre outros feitos notáveis. (PUPIN, 2011).

A representação de funções por meio de séries surgiu na Índia por volta do séc. 14, quando foram concebidas as técnicas precursoras das hoje conhecidas como *Séries de Potências*. Como exemplos particulares desse tipo de série, as *Séries de Taylor* e as *Séries de Maclaurin* surgiram como limite de séries polinomiais, e permitem representar uma coleção razoavelmente grande de funções definidas em um intervalo de convergência. Outros tipos de séries existentes são mais apropriadas para representar funções periódicas definidas na reta em termos de senos e de cossenos. Como exemplos típicos desse tipo de série, as *Séries de Fourier*<sup>248</sup> são assim denominadas em virtude de homenagem a Fourier<sup>249</sup>, que no início do séc. 19, foi o primeiro a estudar sistematicamente tais séries (PUPIN, 2011).

Na Música, *harmonia*<sup>250</sup> refere-se a uma agradável combinação de sons. Na Matemática<sup>251</sup>, uma função

<sup>245</sup> Arquimedes de Siracusa [287 – 212 a.C.], matemático, físico, engenheiro, inventor e astrônomo grego, nasceu e viveu na cidade de Siracusa, na ilha de Sicília (Itália). São famosos seus estudos sobre a lei de alavancas, centro de gravidade de um segmento parabólico e pressão de fluidos – este último hoje conhecido como *Princípio hidrostático de Arquimedes*. Como estudioso pioneiro da mecânica teórica, Arquimedes estabeleceu uma profunda relação entre a Matemática e Mecânica, que influenciaria a evolução histórica tanto da Física quanto da Matemática. Antes dele, os textos sobre ciências físicas – tais como a *Física*, de Aristóteles, eram de natureza não matemática e especulativa. Conjugando o rigor matemático com preocupações em relação a aplicações, destacou-se como um inventor com uma grande reputação em todo o mundo grego. Eram famosas suas máquinas de guerra, usadas para defender Siracusa de ataques de navios romanos. Há relatos de que um desses engenhos usava espelhos parabólicos para fazer convergir raios de Sol e atear fogo nos navios inimigos (MOL, 2013).

<sup>246</sup> Esse tipo de procedimento ficou assim conhecido no séc. 17. Todavia, tal nomenclatura não é a mais adequada, uma vez que o método se baseia justamente no fato de que o infinito não pode ser levado à exaustão, isto é, não admite ser exaurido – pois, por mais que dele se aproxime, nunca se chegará até ele (ROQUE, 2012).

<sup>247</sup> Arquimedes, em seu tratado *Sobre a Medida do Círculo*, demonstrou suas habilidades computacionais ao avaliar a razão entre a circunferência e o diâmetro de um círculo. Começando com um hexágono regular inscrito e um hexágono circunscrito, dobrou progressivamente o número de lados até chegar a um polígono de 96 lados. Como resultado de seus cálculos, obteve uma aproximação para  $\pi$  da forma de  $3,1408 < \pi < 3,1428$  (bastante próximo do valor de  $\pi = 3,1415\dots$ ) (MOL, 2013).

<sup>248</sup> O tratamento moderno das Séries de Fourier expressa essas séries como somas infinitas de exponenciais complexas, cuja definição é apresentada na equação (5), pg. 96.

<sup>249</sup> Jean-Baptiste Joseph Fourier (1768-1830), matemático e físico francês, cuja vida e obra serão detalhados neste capítulo, no item “E.2.5. Fourier: vida e obra” (pg. 405).

<sup>250</sup> O termo *harmônico* origina-se do grego antigo *harmonikos* (“melodioso, musicalmente agradável, habilidoso em música”), que vem do grego *harmonia* (“encaixe”, “meios de união”, “ajuste”, “estrutura”, “acordo”, “princípio de união”). Segundo recolhimento de Diógenes Laércio, o livro *Sobre a natureza das coisas*, de Filolau (ver nota de rodapé n. 242), começou com a seguinte frase:

A natureza na ordem do mundo (*kosmos*) foi unida harmoniosamente (*harmochthē*) a partir de coisas ilimitadas (*apeira*) e também de coisas limitantes (*perainontā*), tanto a ordem do mundo como um todo, quanto todas as coisas dentro dela [tradução nossa, a partir do Inglês, de Kahn (2001), pg. 24].

Como limitado e ilimitado são princípios opostos ou dessemelhantes, um terceiro se faz necessário para bem uni-los: a *harmonia*. Assim, a segunda parte do fragmento 6 de Filolau reafirma o papel da harmonia como princípio de união entre opostos:

Como esses princípios não eram semelhantes, nem do mesmo tipo, teria sido impossível combiná-los harmoniosamente se a harmonia não tivesse intervindo – entretanto, foi isso o que ocorreu. Não são as coisas que são semelhantes e do mesmo tipo que precisam de harmonia, mas coisas dessemelhantes, diferentes e de velocidades desiguais; tais coisas devem ser combinadas pela harmonia, se serão mantidas unidas em um cosmos (OLIVEIRA, 2018, p. 253).

A Ciência que buscou a investigação das relações múltiplas na música estava preocupada com o “encaixe” matemático das notas e intervalos constituintes da música. Além de aplicar a harmonia para música em geral, para formações de escala e para uma melodia bem ordenada, os gregos também a utilizam no sentido de “harmonia do mundo” ou “harmonia do corpo e da alma” (APEL, 1969, p. 366).

<sup>251</sup> A Aritmética é o ramo mais facilmente reconhecido na Matemática, visto que lida com números e as operações numéricas básicas (soma, subtração, multiplicação e divisão) que são aprendidas desde a infância no ensino formal. *Arithmos* significa “número”, “cálculo”, “soma”, “quantidade”, “ritmo”. Segundo Oliveira (2018) quando Filolau (ver nota de rodapé n. 250) usou a palavra *númera*, não se deve entendê-la como um número matemático, mas no sentido de que o número, que está diretamente ligado à harmonia que concilia o limitado e o ilimitado, pressupõe ritmo medido, periodicidade. Assim, na concepção original da filosofia grega antiga, número é ritmo com proporção, periodicidade de um fluxo contínuo medido. Para esclarecer esta questão, Oliveira (2018) sugere pensar em alguns exemplos relacionados ao tempo:

1. Quando se observa o movimento dos astros e percebe-se que a Terra deu uma volta completa ao redor do Sol, chama-se isto de um *ano*, o que significa que, na natureza um ciclo, é reconhecida uma ordem, uma medida no fluxo incessante e, ao perceber este ciclo (um ano), cria-se um tempo no fluxo, medida no movimento.



harmônica é uma função senoidal obtida projetando um movimento circular em um diâmetro; e a *análise harmônica* é a teoria do desenvolvimento de funções periódicas em componentes harmônicos ou a teoria de desenvolvimentos semelhantes. A ocorrência da mesma palavra em contextos musicais e matemáticos não é uma coincidência nem um efeito puramente metafórico. Conforme retrospectiva a ser esmiuçada doravante, as raízes históricas demonstram que, da análise da vitalidade e vigor das tradições das antigas crenças, a música e matemática são fundamentalmente ciências irmãs. Esse relacionamento em particular é de longa data de profundo fascínio para muitas pessoas, remetendo aos tempos da Grécia antiga, onde a música era vista como uma arte matemática (GUSMÃO, 2013).

### E.2.2. Filosofia: princípios da harmonia na Grécia antiga

Para as sociedades antigas, os calendários eram importantes para cronometrar a atividade agrícola e organizar festivais religiosos. Eclipses e movimentos planetários eram frequentemente interpretados como presságios, enquanto a serena regularidade dos ciclos astronômicos (movimentações do Sol, Lua e planetas) deve ter sido filosoficamente atraente em um mundo incerto e violento.

A primeira aparição documentada de harmônicos em relação à matemática e a ciência é da Grécia antiga. A observação astronômica, como o cálculo numérico, há muito tempo era praticada com grande habilidade no Oriente e, por vários séculos depois de Tales e Anaximandro,

os gregos permaneceram os alunos dos babilônios a esse respeito. Os gregos aprenderam a calcular eclipses dos babilônios, mas eles foram os primeiros a explicá-los. Assim, invés de meros teóricos, os primeiros filósofos naturais eram astrônomos práticos, interessados em prever mudanças sazonais do tempo, medir as estações agrícolas e estabelecer um calendário confiável. Os babilônios usavam o *gnômon*<sup>252</sup> ou o relógio de sol para esse fim, e a tradição grega diz que os jônios<sup>253</sup> os substituíram e começaram a fazer medições precisas das estações astronômicas, marcadas pelo solstício e pelo equinócio. O resultado foi um calendário científico progressivamente mais preciso, baseado na convergência dos ciclos lunar e solar, com período estimado inicialmente de 8 anos, depois refinado para 19 anos<sup>254</sup>. Os ciclos provavelmente foram descobertos na Mesopotâmia, todavia, seu uso na Grécia, com seu ciclo Metônico altamente preciso de 19 anos, testemunha uma tradição cada vez mais sofisticada de astronomia observacional.

O estudo astronômico dos ciclos diários, mensais e anuais está relacionado não apenas às aplicações agrícolas, mas também às empresas marítimas nas quais Mileto<sup>255</sup> se destacou: assim, Tales foi creditado com autor de um dos primeiros manuais de Astronomia Náutica. As preocupações agrícolas e de navegação exigem atenção contínua sobre os fenômenos atmosféricos de evaporação e precipitação envolvidos na seca, chuva, presença de nuvens e ventos. É característico da cosmologia jônica conectá-los a outros fenômenos da terra, do mar e do céu, menos imediatamente óbvios<sup>256</sup>, interpretando determinados eventos em termos de conflito entre forças opostas: o úmida e o seco, o quente e o frio, o claro e o escuro. Os filósofos naturais interpretaram esse conflito como um ciclo de

2. No decorrer de um ano, há mudanças na natureza e estas apresentam características distintas em quatro fases neste período, nomeadas *estações*. No fluxo da natureza observa-se ritmo e medida, portanto *arithmos*; e,

3. Mais uma vez a música serve para ilustrar e complementar a argumentação apresentada: como a música é arte com medida, os sons precisam ter um fluxo medido, devem soar por um determinado período. Logo, a proporção matemática que rege o tempo das notas (suas alternâncias, variações intercaladas ditadas por um ritmo) é uma harmonia baseada no número. Assim, por essa analogia, infere-se que o microcosmo musical, por ser natureza, segue as mesmas leis do macrocosmo.

De modo geral, o número deve ser entendido como indicador de *periodicidade* ou *ciclo* como medida. Oliveira (2018) anota que *harmonia* e *arithmos* estão intimamente ligados, sendo difícil definir um sem se remeter ao outro. O que difere uma harmonia qualquer de uma harmonia específica, no caso de Filolau, é que a harmonia utilizada para formar o cosmos, através da combinação harmoniosa entre limitado e ilimitado, possui número (*arithmos*). Ou seja, o cosmos foi formado a partir de uma estrutura baseada em proporções específicas que correspondem aos intervalos musicais, sendo a música uma imagem ou imitação dessa estrutura encontrada na Natureza, um microcosmos. Em síntese, assim Filolau conclui: “a harmonia é numérica na forma”. Análises ricamente detalhadas quanto à harmonia sob a ótica de Filolau podem ser consultadas em Oliveira (2018) e Ozga (2018).

<sup>252</sup> Gnômon é a parte de um relógio de sol que projeta uma sombra, podendo ser um lâmina triangular ou um pino sobre um mostrador onde linhas marcadas indicam as horas.

<sup>253</sup> Uma das quatro etnias formadoras do povo grego.

<sup>254</sup> O ciclo de 19 anos é conhecido como o *ciclo Metônico* ou *Enneadecaeteris* (do grego antigo, significa “dezenove anos”), em homenagem ao astrônomo, matemático e engenheiro grego Meton de Atenas [c. 460–? a.C.], que em 432 a.C., observou que tal ciclo equivalia a 235 meses sinódicos [1 *mês sinódico* (ou *lunação*)  $\cong$  29,5 dias, período correspondente ao intervalo de tempo que a Lua leva para estar na mesma fase, por exemplo, tempo transcorrido entre duas luas novas consecutivas, ou, ainda, o tempo das 4 fases da Lua]. Expandindo o trabalho de Meton, o astrônomo grego Cálipo de Cízico [c. 370– c.300 a.C.] propôs o que hoje é chamado de *ciclo Calíptico*, que dura 76 anos ou quatro ciclos metônicos. Neste ciclo, o ano médio passava a possuir 365,25 dias, mais próximo ao ano trópico verdadeiro. Com base nos calendários baseados nos ciclos metônico e calíptico, no séc. 2 a.C. foi construído o *Mecanismo Antikythera*, a calculadora astronômica mais antiga conhecida do mundo, que permitia calcular eclipses solares e lunares (FREETH et al., 2006).

<sup>255</sup> Cidade ao sul da região da Jônia, atualmente pertencente à Turquia.

<sup>256</sup> Como o processo de assoreamento que transformou gradualmente os antigos portos de Éfeso e Mileto em planícies pantanosas distantes 3 e 5 km do mar, ou as mudanças de altas e baixas nos níveis da costa encontrados em toda a região do Egeu e no sul da Itália.

intercâmbio elementar, no qual cada uma das forças opostas domina, por sua vez, como o quente e o seco no verão, o frio e o úmido no inverno. Foi um ciclo que Anaximandro descreveu na única citação sobrevivente<sup>257</sup> de seu livro:

O lugar de onde todas as coisas têm a sua geração é o mesmo em direção ao qual elas têm de ser destruídas, segundo a necessidade; pois elas têm de pagar penitências e ser julgadas pela sua injustiça, segundo a ordem do tempo (ARAÚJO, 2018, p. 273).

Sobre o problema do primeiro princípio, Anaximandro procurava explicar o surgimento de todas as coisas. Para tanto, como o princípio a partir do qual todas as coisas surgem, ele propunha o *apeiron* (o ilimitado) como a origem de um movimento eterno de separação dos pares de opostos: calor/frio, úmido/seco, claro/escuro. Nesse ponto, o fragmento parece apontar para a necessidade da harmonia entre esses opostos, estando então a justiça ligada ao restabelecimento de tal equilíbrio (ARAÚJO, 2018, ROSSETTI, 2010).

A frase pode querer significar que o processo pelo qual as coisas saem de seu princípio e a ele retornam ocorre como se fosse a reparação pela “injustiça” cometida, isto é, como uma espécie de compensação pelo dano cometido para que o equilíbrio e o acordo harmônico se mantenham no mundo. Conforme suscitado por Rossetti (2010), admite-se o uso da palavra *justiça* como uma metáfora de explicação do surgimento de todas as coisas, do universo. Nesse contexto, justiça (*dike*, do grego “estar nos eixos”) originalmente pode significar “estar em acordo”, “articulado”; e injustiça (*adikia*) significaria que algo está “fora dos eixos”, ou seja, há uma desarticulação, um desacordo (ROSSETTI, 2010). Considerando que a palavra grega *harmonía* “significa precisamente ‘junção das partes’” (BRANDÃO, p. 147), infere-se que a justiça mencionada por Anaximandro remete à harmonia dos opostos.

Na sentença de Anaximandro, o padrão de mudança e transformação física, o nascimento do que é novo e a morte do que é antigo, é visto como um conflito regulado por uma “ordenança do tempo” onde os competidores aparecem por sua vez como vencedores e vencidos. E essa ordem é ela mesma descrita na linguagem da justiça, onde o malfeitor deve pagar a penalidade por sua agressão ou excesso. Essa noção de ordem cósmica como oposição, reciprocidade e inevitável justiça é fielmente assumida por Heráclito, com toda sua ressonância poética e associação com ideias míticas mais antigas.

A nova cosmologia jônica é caracterizada por quatro aspectos fundamentais: (1) um modelo geométrico para os céus; (2) observação e medição numérica dos ciclos astrais; (3) a interpretação da mudança física como um conflito de poderes elementares dentro de uma ordem periódica de reciprocidade e simetria reconhecida como justa; e (4) a tendência de explicar o estado atual das coisas, derivando-o de alguma situação inicial ou primeiro começo. Esses quatro princípios caracterizam a concepção grega original do mundo natural como um *kosmos*, um arranjo ordenado cuja estrutura pode ser racionalmente entendida.

A compreensão de como a unidade opondendo-se a si mesma produz a harmonia é explicada por Platão, em sua obra *O Banquete*<sup>258</sup>. Na fala do médico Erixímaco, argumenta-se que, da mesma maneira que a medicina é guiada pelo Amor<sup>259</sup>, o mesmo acontece com a ginástica, a agricultura, a poesia, a música, as estações do ano e a astronomia. Embora essa expansão da teoria tenha sido alvo de críticas, cada um desses campos inclui exemplos de gerar harmonia entre opostos. Assim Erixímaco inicia seu discurso:

Parece-me que Pausânias está certo ao distinguir dois tipos de Amor; mas o fato é que o amor influencia não apenas as almas humanas em resposta à beleza física, mas também em todas as outras coisas e em suas respostas. O Amor permeia os corpos de todos os animais e tudo o que é produzido na terra, o que

<sup>257</sup> Há três formas distintas sobre como o pensamento filosófico desse período chegou até os dias atuais:

- I. Casos em que a produção em si foi conservada e, assim, o acesso ao texto antigo é direto, sem qualquer intermediação;
- II. Situações em que existem trechos – os chamados *fragmentos* – do pensamento de um filósofo na produção de outro (comparando com os textos atuais, seriam o equivalente às citações diretas); e
- III. Por meio da interpretação de outro pensador, casos esses denominados *doxografia* (ou *testimonia*, em latim), expressão derivada da palavra grega *doxa* que significa “aparecer” ou “opinião”.

<sup>258</sup> Também conhecido como *Simpósio*, *O Banquete* é um texto filosófico de Platão, datado de c. 385–370 a.C., que descreve um diálogo ocorrido em um banquete onde sete homens notáveis – incluindo o filósofo Sócrates, o político Alcibiades, o dramaturgo Aristófanes, e o médico Erixímaco – proferem seus discursos em louvor a Eros, o deus do amor e do desejo.

<sup>259</sup> Comparado aos demais debatedores, Erixímaco expande seu discurso sobre Eros, estendendo o reino do amor para cobrir muito mais do que apenas relacionamentos interpessoais: não somente a medicina, mas também a agricultura, o clima e a música são todos totalmente governados pelo deus do amor. Assim, tanto a harmonia quanto o ritmo da música consistem em criar um acordo entre notas divergentes ou tempos divergentes. Um acordo semelhante é criado pela medicina entre os elementos divergentes do corpo; e, assim por diante, toda criação de conformidade e concordância é um produto do amor. Como médico, Erixímaco ocupa-se da criação da ordem no corpo humano. Por tal ênfase colocada na ordem e o papel que ela desempenha no amor, reforça a harmonia como um princípio fundamental dos diferentes objetos do cosmos (corpo humano, clima, música). Assim, na sua concepção de amor, vê a ordem como um princípio impulsionador que deve reinar sobre elementos díspares, para que haja harmonia.

significa que o Amor permeia praticamente tudo o que existe. Tudo isso é algo que sinto ter observado em minha própria profissão de medicina, e sei quanto grande e maravilhoso o deus é e como sua influência se estende sobre todas as coisas humanas e divinas [tradução nossa, a partir do Inglês, de Howatson e Frisbee (2008), p. 18].

Sobre a saúde<sup>260</sup> do corpo humano, Erixímaco chama a atenção para os vários opostos da dieta (quente/frio, seco/úmido, doce/amargo), cujo excesso de um é regulado pela suplementação do outro. O argumento dele é o seguinte: dado o tipo de ser que somos, experimentaremos apetites, carências e excessos corporais – o importante é que os satisfaçamos de uma maneira ordenada que conduza a um estado saudável. Como a analogia da música é mais bem explicada por Erixímaco, cabe destacar alguns excertos:

(...) como provavelmente parece querer dizer Heráclito, que aliás em sua expressão não é feliz. O um, diz ele com efeito, “discordando em si mesmo, consigo mesmo concorda, como numa harmonia de arco e lira”. Ora, é grande absurdo dizer que uma harmonia está discordando ou resulta do que ainda está discordando. Mas talvez o que ele queria dizer era o seguinte, que do agudo e do grave, antes discordantes e posteriormente combinados, ela resultou, graças à arte musical. Pois não é sem dúvida do agudo e do grave ainda em discordância que pode resultar a harmonia; a harmonia é consonância, consonância é uma certa combinação – e combinação de discordantes, enquanto discordam, é impossível, e inversamente o que discorda e não combina é impossível harmonizar – assim como também o ritmo, que resulta do rápido e do certo, antes dissociados e depois combinados. A combinação em todos esses casos, assim como lá foi a medicina, aqui é a música que estabelece, suscitando amor e concórdia entre uns e outros; e assim, também a música, no tocante à harmonia e ao ritmo, é ciência dos fenômenos amorosos. Aliás, na

própria constituição de uma harmonia e de um ritmo não é nada difícil reconhecer os sinais do amor, nem de algum modo há então o duplo amor; quando porém for preciso utilizar para o homem uma harmonia ou um ritmo, ou fazendo-os, o que chamam composição, ou usando corretamente da melodia e dos metros já constituídos (...) (PLATÃO, 1991, p. 54).

Na esteira do raciocínio, prossegue Erixímaco no entendimento de que, da mesma forma, as estações do ano também são compostas de opostos – quente e frio, úmido e seco – e que, quando são controlados pelo “amor ordeiro, possuem harmonia e uma mistura temperada”. Quando isso acontece, o clima é ameno, há uma boa colheita, todos os seres vivos prosperam e nada é prejudicado. No entanto, quando o “amor arrogante” está no controle, os opostos são “gananciosos e desordenados um para o outro”, e isso leva a “muita destruição e dano”. Em outras palavras, quando as estações do ano são governadas pelo tipo bom de Eros, elas são equilibradas e em harmonia, fazendo com que plantas e animais tenham boa saúde; enquanto o tipo ruim de Eros nas estações mata e destrói os seres vivos por condições e doenças extremas. Presumivelmente, isso também explica a referência anterior aos dois tipos de Amor relevantes para a habilidade da agricultura: os agricultores precisam saber como contrabalançar os excessos naturais do clima e das estações do ano. Reiterando que o amor é encontrado em “todas as áreas”, Erixímaco estende sua análise à astronomia, definindo-a como “a ciência dos amores a respeito dos movimentos das estrelas e das estações do ano”. A extensão dessa teoria de Erixímaco para a astronomia é intrigante, mas plausivelmente a ideia geral é que: movimentos celestes ordenados causam estações ordenadas; e movimentos celestes desordenados causam estações desordenadas, então ele está apontando para uma causa mais elevada (DESTRÉE; GIANNOPOULOU, 2017). Nas palavras de Erixímaco, são assim explicadas tais interpretações supramencionadas:

<sup>260</sup> Segundo Mendonça (2017), a influência do clima sobre o organismo dos homens vem sendo observada e registrada desde Hipócrates [c. 460–c. 370 a.C.], considerado o “Pai da Medicina”. Em sua célebre obra *Ares, Águas e Lugares*, assim relatou Hipócrates:

I.1. Quem quiser investigar corretamente a medicina deve fazer o seguinte: primeiramente deve levar em consideração as estações do ano e o que cada uma delas pode produzir. Pois essas não se parecem nada entre si, mas diferem muito delas mesmas, inclusive quanto às suas mudanças. 2. Em seguida, os ventos quentes e frios, sobretudo os que são comuns a todos os homens. Depois, os de cada região, os que são autóctones. (...)

II.1 (...) 2. Com o avanço do tempo e do ano, poder-se-ia dizer quais as enfermidades dentre as que são comuns a todos apoderar-se-ão da cidade ou no verão ou no inverno, e quais serão as enfermidades particulares perigosas para cada um a partir de uma mudança de dieta. Tendo tomado conhecimento das mudanças das

estações, e dos nascimentos e ocultos dos astros, e de como cada um deles ocorre, poderá saber de antemão como será o ano. Alguém que se propuser a perquirir dessa maneira e for conhecedor prévio das ocasiões oportunas poderá saber sobre cada caso e obter frequentemente a saúde, e não menos raramente agir com correção em sua arte. 3. Se alguém considerar que esses temas são muito estratosféricos, se ele mudar de opinião, poderá aprender que a astronomia tem lugar na medicina, e não um lugar pequeno, mas realmente grande; pois as cavidades mudam nos homens de acordo com as estações do ano. (...)

X. Sobre as estações, alguém refletindo, poderia discernir o que vem a ser o ano, seja o insalubre, seja o saudável. 2. Se, pois, os sinais sobre o ocaso e o ortivo são regulares<sup>158</sup>, e se no outono houver chuvas e o inverno for moderado, nem muito tranquilo, nem de um frio excessivo, e se na primavera as chuvas forem oportunas, assim como no verão, então é normal que o ano seja muito saudável. 3. Se o inverno é seco e boreal, mas a primavera é chuvosa e austral, é necessário que o verão seja propício às febres e que produza tanto oftalmias quanto disenterias. (...) (CAIRUS, H.F.; RIBEIRO, p. 94 e 101)

(...) Tanto na música então, como na medicina e em todas as outras artes, humanas e divinas, na medida do possível, deve-se conservar um e outro Amor; ambos com efeito nelas se encontram. De fato, até a constituição das estações do ano está repleta desses dois Amores, e quando se tomam de um moderado Amor um pelo outro os contrários de que há pouco eu falava, o quente e o frio, o seco e o úmido, e adquirem uma harmonia e uma mistura razoável, chegam trazendo bonança e saúde aos homens, aos outros animais e às plantas, e nenhuma ofensa fazem; quando porém é o Amor casado com a violência que se torna mais forte nas estações do ano, muitos estragos ele faz, e ofensas. Tanto as pestes, com efeito, costumam resultar de tais causas, como também muitas e várias doenças nos animais como nas plantas; geadas, granizos e alforras resultam, com efeito, do excesso e da intemperança mútua de tais manifestações do amor, cujo conhecimento nas translações dos astros e nas estações do ano chama-se astronomia (PLATÃO, 1991, p. 55).

Em sua famosa obra *A República*, Platão assim refere-se à harmonia pitagórica:

É provável que, assim como os olhos foram moldados para a astronomia, os ouvidos foram moldados para o movimento harmônico e as próprias ciências são irmãs uma da outra, tal como afirmam os Pitagóricos e nós, ó Gláucon, concordamos (PLATÃO, 2017, p. 342).

### E.2.3. Música: raízes matemáticas e astronômicas

Hoje a teoria musical é principalmente “o estudo da estrutura da música”. Originalmente, todavia, era uma disciplina matemática: seus personagens não eram sons, mas números, e as proporções entre os números definiam as relações entre os sons. O problema de escolher os sons a serem produzidos na música, portanto, era selecionar os números certos para gerar sequências musicais agradáveis, as consonâncias. Esta abordagem particular do problema remonta a Pitágoras e aos pitagóricos (7 séculos a.C.). No âmbito da cosmologia do filósofos jônicos, Pitágoras e pitagóricos, sobre os constituintes básicos da realidade, estabelecem

um universo de precisão baseado em um princípio não material (água, ar, fogo), mas sim fundamentado em princípio formal de modelos matemáticos do cosmos (número) (GOZZA, 2000):

Matemática e música, os campos de atividade intelectual mais nitidamente contrastados que se pode descobrir, e ainda assim unidos, apoiando um ao outro como se demonstrassem o vínculo oculto que une todas as atividades de nossa mente e que, também, nas revelações do gênio artístico, nos conduz a supor expressões inconscientes de uma inteligência misteriosamente ativa [tradução nossa, a partir do Inglês, de Ewing (1994), p. 41]

A retrocitação é um trecho que foi escrito por alguém supremamente competente para representar músicos e matemáticos, Hermann Helmholtz<sup>261</sup>, o autor de obra monumental “Sobre as sensações do tom como base fisiológica da teoria da música”, publicada em 1863. Seja na regularidade das vibrações, nas relações dos tons entre si nas melodias e harmonias, na tonalidade, no ritmo, nas muitas variedades de forma musical, nas séries de Fourier surgindo na discussão de cordas vibrantes e no desenvolvimento de funções arbitrárias, e nas discussões modernas de acústica, a Matemática e a Música mantêm laços estreitos. Isso sugere que a famosa afirmação de Gottfried Leibniz<sup>262</sup>: “*Musica est exercitium arithmeticae occultum nescientis se numerare animi* (A música é um exercício oculto de aritmética de uma alma inconsciente que lida com números)”, deve estar longe de ser verdadeira se tomada literalmente. Mas, em uma concepção muito geral de arte e ciência, sua verdade pode muito bem ser concedida; pois, tanto na criação quanto na escuta da música, não há realização possível, exceto pela apreciação imediata e espontânea de uma multiplicidade de relações sonoras (EWING, 1994).

Os primeiros músicos devem estar cientes da existência de intervalos musicais harmoniosos. A expressão desses intervalos por proporções de inteiros pequenos é uma noção pitagórica, baseada nos comprimentos correspondentes da corda vibratória em um monocórdio. A interpretação do som como vibração também remonta à antiguidade, embora sua expressão mais precisa tenha surgido somente com filósofos mecânicos do início da modernidade (DARRIGOL, 2007).

<sup>261</sup> Hermann Ludwig Ferdinand von Helmholtz (1821–1894) foi um médico e físico alemão que fez contribuições significativas em vários campos científicos, incluindo física (termodinâmica), filosofia da ciência, fisiologia e psicologia. Nestas duas últimas áreas, é conhecido por sua matemática do olho e pela percepção do som.

<sup>262</sup> Gottfried Wilhelm Leibniz (1646–1716) foi um importante polímata alemão e um dos mais importantes matemáticos e filósofos naturais do Iluminismo.

O desenvolvimento da análise de Fourier tem uma longa história, envolvendo diferentes pessoas e a investigação de diversos fenômenos físicos. A utilização de “somatrigonométricas” – ou seja, somas de senos e cossenos relacionados harmonicamente ou exponenciais complexas periódicas — para descrever fenômenos periódicos é datado pelo menos da época dos babilônios, que usavam ideias desse tipo para prever eventos astronômicos (OPPENHEIM; WILLISKY, 2010).

No sexto século a.C., Pitágoras desenvolveu uma relação entre a periodicidade das puras vibrações senoidais das notas musicais produzidas por uma corda de tensão fixa e um número representando o comprimento da corda<sup>263</sup>. Ele acreditava que a essência da harmonia era inerente aos números (MARPLE, 2019). Dois séculos mais tarde, Aristóteles, em sua obra *Metafísica*, disse:

(...) aqueles a quem se chama pitagóricos foram os primeiros a consagrar-se às Matemáticas e fizeram-nas progredir. Penetrados desta disciplina, pensaram que os princípios das Matemáticas eram os princípios de todos os seres. Como, desses princípios, os números são, pela sua natureza, os primeiros, e como, nos números, os pitagóricos pensavam aperceber uma multidão de analogias com as coisas que existem e se transformam, mais que no Fogo, na Terra e na Água (tal determinação dos números sendo a justiça, tal outra a alma e a inteligência, tal outra o tempo crítico, e do mesmo modo para cada uma das outras determinações); como eles viam, além disso, que os números exprimiam as propriedades

e as proporções musicais; como, enfim, todas as coisas lhes pareciam, na sua inteira natureza, ser formadas à semelhança dos números e que os números pareciam ser as realidades primordiais do Universo, consideraram que os princípios dos números eram os elementos de todos os seres e que o Céu é harmonia e número (CARAÇA, 2003, p.67).

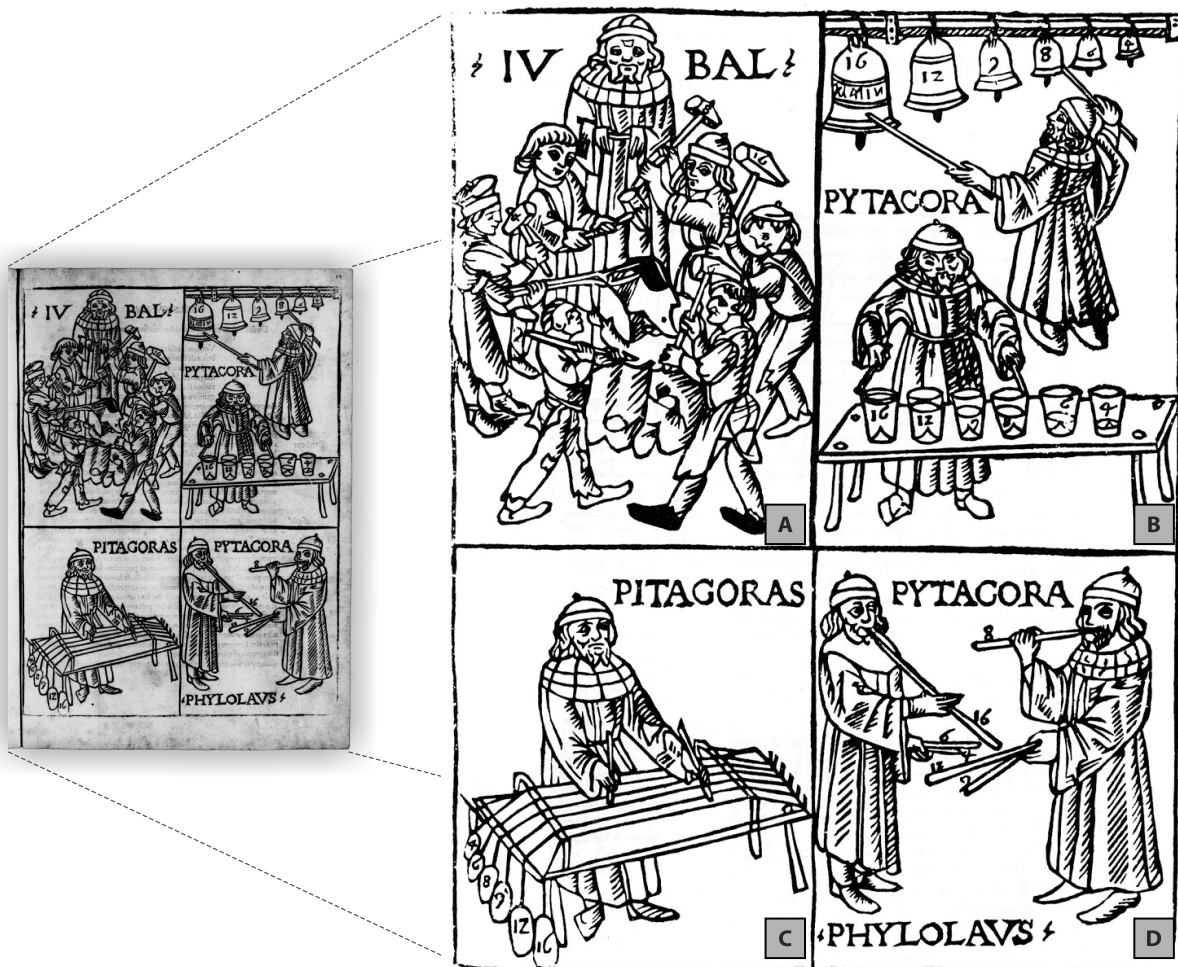
De acordo com Aristóteles, os números<sup>264</sup> são, na cosmologia pitagórica, os princípios e elementos constituintes do todo, e o todo é mantido unido por proporção matemática, o equivalente à harmonia musical. A descoberta das *músicas universais* na natureza é tradicionalmente atribuída a Pitágoras, cuja saga tem uma passagem marcante da lenda conhecida como o “ferreiro harmônico”<sup>265</sup>: ao passar do lado de fora de uma ferraria, ele notou lá dentro que quatro dos cinco martelos atingidos pelos ferreiros produziam na bigorna uma harmonia agradável (**Figura 199**, canto superior esquerdo). Ele pesou os 5 martelos: um martelo possuía um peso unitário (1/1), e os outros martelos eram mais leves, pesando, respectivamente, metade (1/2), dois terços (2/3) e três quartos (3/4); todos esses 4 martelos produziam um som agradável, consonante (*harmônico*). O quinto martelo, por outro lado, era dissonante (*desarmônico*). Posteriormente, pela interpretação da imagem, Pitágoras teria aperfeiçoado o experimento com sinos, cordas, copos e tubos cheios de água<sup>266</sup> (**Figura 199**) (GOZZA, 2000).

<sup>263</sup> No século VI a.C, Pitágoras, o “inventor da acústica”, foi o primeiro a especificar os intervalos harmônicos por intermédio do monocórdio, fixando a relação proporcional entre os sons. Por meio de divisões proporcionais da corda vibrante, ele obteve a série dos sons harmônicos. Aos intervalos de oitava, quinta e quarta justas chamou de *Sinfonias (Consonâncias)* e aos outros de *Diafonias (Dissonâncias)* (ANDRADE, 2015).

<sup>264</sup> Uma filosofia metafísica estava no coração dos pensamentos e ensinamentos de Pitágoras. Sua compreensão dos números era bem diferente da compreensão de hoje. Para Pitágoras e seus seguidores, a ideia de número era uma realidade qualitativa e viva que precisava ser experimentada. Para eles, o número não era algo a ser *usado*, mas algo cuja natureza deveria ser *descoberta*. Atualmente, pensa-se em número como um sinal para indicar uma quantidade ou quantidade específica. Assim, os números como símbolos que representam coisas. Os pitagóricos viam o número como um princípio universal, como a luz, o eletromagnetismo ou o som. Como a física moderna demonstrou, é precisamente a frequência numérica, vibratória ou comprimento de onda da energia eletromagnética que determina sua manifestação particular (GUTHRIE; FIDELER, 1987).

<sup>265</sup> A lenda de Pitágoras e da ferraria é uma lenda originariamente contada pelo senador e filósofo romano Severino Boécio [477–524 d.C.]. Como seus antecessores gregos, Boécio acreditava que a aritmética e a música estavam entrelaçadas, e ajudou a reforçar mutuamente o entendimento de cada um, exemplificando os princípios fundamentais de ordem e harmonia na compreensão do universo, como era conhecido em sua época. O conto da ferraria ensinou as relações fundamentais que se tomam o fundamento de toda teoria musical por meio da imagem física de um conjunto de martelos de ferro e na relação entre seus pesos. Apesar de a história da ferraria ser completamente lendária, visto que a natureza dos objetos metálicos vibrantes é inarmônica, ela transmitida ao longo dos milênios e, ainda hoje, é relevante como uma “história de ensino”.

<sup>266</sup> Conforme relatado por Gusmão (2013), os experimentos com os martelos, com copos d’água e outros se mostraram equivocados e, talvez, nunca tenham sido feitos. Porém, o objetivo da narrativa foi alcançado, ou seja, apresentar Pitágoras fazendo experiências acústicas em uma antiga forja.



**Figura 199** – Invenção da afinação musical, ilustrada pelas experiências acústicas realizadas por Pitágoras sobre consonância e dissonância. A imagem à esquerda consta no livro *Theorica musicae* (1492), de Franchino Gaffurio [1451–1522], um teórico da música italiana e compositor do Renascimento. No detalhe (à direita): **(A)** cena retratando o conto do “ferreiro harmônico”, onde sons harmônicos são produzidos por martelos, com diferentes pesos, que atingem uma bigorna; Sons harmônicos sendo produzidos por: **(B)** sinos e copos cheios de água; **(C)** cordas em um monocórdio; e **(D)** tubos cheios de água. Fonte: imagem à direita: Gozza (2000); imagem à esquerda: retirada de original digitalizado disponível em GAFFURIUS (1492).

Finalmente, testado como um método seguro, ele utilizou-se do monocórdio<sup>267</sup> – a partir do qual denominou de *cânone* (ou regra) as proporções matemáticas observadas entre as partes da divisão da corda. Como sendo o primeiro a identificar que o tom de uma nota musical é inversamente

proporcional ao comprimento da corda que a produz [uma corda curta (longo) produz um som com tom elevado/agudo (baixo/grave)], Pitágoras deduziu três consonantes fundamentais<sup>268</sup> com o cânone: dividindo a corda na proporção de 2:1, 3:2 e 4:3 produzia-se, respectivamente, as

<sup>267</sup> O monocórdio é um instrumento – ainda hoje em uso na investigação de proporções musicais – constituído por uma única corda esticada sobre uma placa sonora, com uma ponte móvel que divide a corda nos comprimentos desejados, marcando assim relações simples entre o comprimento variável da corda e os tons produzidos.

<sup>268</sup> As principais notas musicais são assim classificadas:

Nota musical	Intervalo com a nota	Afinação natural/proporção	Frequência (Hz)
Dó	Dó uníssono*	1:1	132,000
Ré	Segunda maior	9:8	148,500
Mi	Terça maior	5:4	165,000

Fá	Quarta perfeita**	4:3	175,956
Sol	Quinta perfeita**	3:2	198,000
Lá	Sexta maior	5:3	220,044
Si	Sétima maior	15:8	247,500
Dó	Oitava perfeita**	2:1	264,000

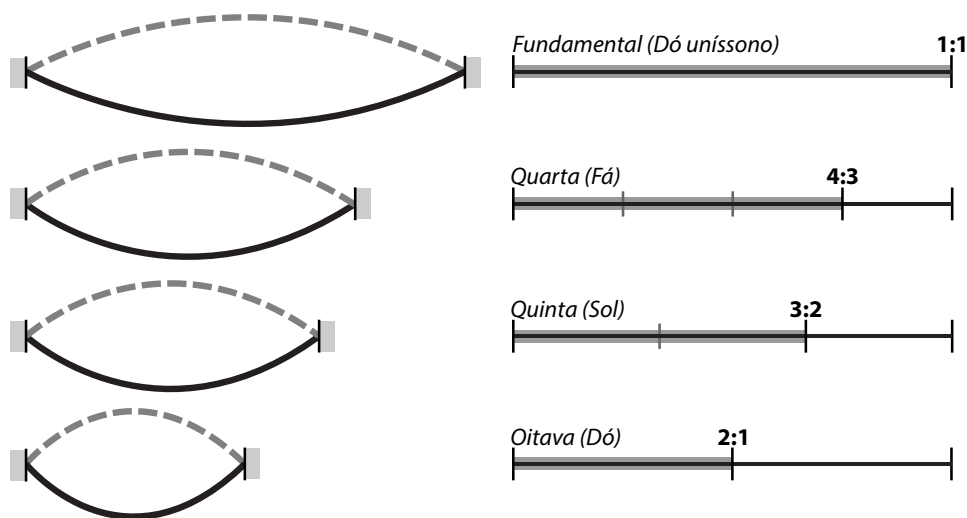
\*Fundamental ou tónica.

\*\*Consonantes absolutos do sistema de Pitágoras.

Fonte: adaptado de Souza (2009).

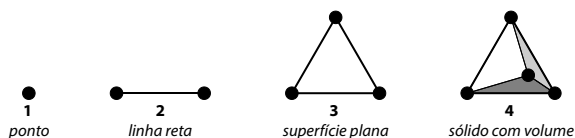
notas da oitava (*dó, diapason*), quinta (*sol, diapente*) e quarta (*fá, diatessaron*) (Figura 200). Por consequência, ele concluiu que as primeiras consonâncias mais naturais são definidas pelos

quatro primeiros números inteiros (1, 2, 3 e 4) e, por este motivo, ficaram conhecidos como a “tétrade pitagórica”<sup>269</sup>.



**Figura 200** – Consonantes de Pitágoras na corda, com as proporções 2/1 (oitava), 3/2 (quinta) e 4/3 (quarta). A primeira nota de uma escala ou de um acorde é denominada *fundamental*, *tônica* ou *unísono*, com proporção de 1/1. As demais notas são conhecidas como *harmônicos*.

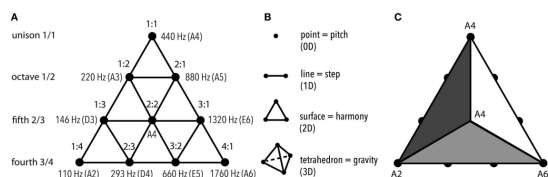
<sup>269</sup> A importância fundamental do número 4 foi verificada pelos pitagóricos em outras evidências impressionantes. Geometricamente falando, o número quatro fornece o primeiro corpo sólido (Figura (A)):



**Figura (A)** da nota de rodapé n. 269 – Representação da tétrade, e a materialização do número 4 como um sólido. Fonte: adaptado de Heninger (1961).

O 1 faz apenas o ponto; o 2 faz apenas a linha reta; o 3 faz apenas a superfície plana; mas o 4 faz o sólido com volume. Nessa lógica, os pitagóricos tinham a crença de que o 4 é o número adequado para representar todo o universo tridimensional. O que conquistou a essencialidade do 4, no entanto, foi sua relação com o número perfeito, o dez:  $1 + 2 + 3 + 4 = 10$ , e, consequentemente, o 4 contém, em si, a “potencialidade da perfeição” (HENINGER, 1961).

A tétrade foi a primeira conceitualização racional da organização espacial e tonal em um único esquema (Figura (B)) de um triângulo equilátero preenchido com linhas simétricas de 1 a 4 pontos.



**Figura (B)** da nota de rodapé n. 269 – Tétrade (o “quarteto”): a representação geométrica da harmonicidade do número “4”. (A) Aspecto musical da tétrade. À esquerda, é atribuído a cada linha um valor que expressa a proporção da sequência necessária para a produção de um intervalo musical perfeito. Os números 1, 2, 3 e 4 seguem um ao outro sequencialmente. Cada linha contém intervalos do tipo designado. À direita, o diagrama

da tétrade é combinado com a *matriz lambda* que foi associada ao ensino de Pitágoras na Grécia antiga. As taxas de lambda são aplicadas ao valor de frequência de A4 (440 Hz) tomado como 1:1, produzindo A, D e E – os “tons imutáveis” (*hestotes*) que compunham o esqueleto do sistema musical da Grécia antiga. Obviamente, o aspecto harmônico da tétrade determinou a organização tonal das civilizações grega e provavelmente civilizações anteriores; (B) Aspecto espacial e sua correspondência melódica. Cada linha representava um parâmetro na representação espacial: 1 ponto indicava zero dimensões; 2 pontos definem uma linha (1 dimensão); 3 pontos definem a superfície (2 dimensões); e, 4 pontos definem uma figura geométrica em 3D (pirâmide triangular). Musicalmente, isso seria equivalente na distinção entre um tom isolado; um passo melódico produzido pela sucessão de 2 tons; uma harmonia específica produzida pelas relações de 3 tons; e um quadro de referência de entonação (gravidade) gerado por 4 tons; (C) Gravidade centrípeta codificada do tétrade. A configuração de 10 pontos que compõem o tétrade pode ser representada em 3D ao aglutinar 4 triângulos. Assim, seus “cantos” correspondem ao mesmo tom de oitava equivalente, indicando que as tétrades estão “sintonizadas” em um determinado tom, conforme correspondências indicadas em (A). Fonte: Nikolsky (2016).

Cada um desses números codificava um conceito geométrico, estando esse associado a um aspecto representativo da ordem do mundo: 1 (ponto) simbolizava a *unicidade*; 2 (linha), o *limite*; 3 (superfície), a *harmonia*; e 4. (tetraedro), o *cosmos*. Essa convenção mostrou incrível vitalidade ao longo dos tempos, filosofia nutritiva tradições cristãs, árabes e judaicas. Como os antigos consideravam os números como “sonoros” – seguindo o paradigma de encurtamento proporcional do comprimento da corda para atingir timbres diferentes – a ideia de inclusão de um número também era entendida musicalmente: 4 e seus números inteiros expressavam intervalos consonantes perfeitos (2:1 = *oitava*; 3:2 = *quinta*; e 4:3 = *quarta*). As tétrades musicais serviram então como o recipiente da *harmonia*: os intervalos que podiam ser expressos em números não superiores a 4 eram considerados *sinfonia* (acorde), enquanto todos os outros intervalos, incluindo o 3º e o 6º, eram considerados *diafonia* (discorde). A tétrade determinou a variedade de tons utilizáveis na música, o que também foi entendido em termos cosmogônicos. Platão, em *Timeu*, descreveu a derivação da afinação da música como criação da Alma do Mundo – e o modelo para seus cálculos provavelmente veio de fontes mesopotâmicas anteriores (NIKOLSKY, 2016).

A analogia pitagórica entre som e número, entre proporções e sons, e entre proporções e números, é, portanto, o princípio da *consonância* (do latim, *consonare*, “soar junto”, “boas proporções para bons sons”, consistindo em uma harmonia, um acorde ou um intervalo considerado estável; inversamente, a *dissonância* é considerada instável) e também é o princípio que define a ordem e classificação das consonâncias, onde a oitava assume a primazia aritmética e musical. O experimento de Pitágoras é o princípio da ciência matematicamente orientada dos gregos. Mostra como uma ordem matemática é imanente no espaço físico, e essa ordem, tanto mental quanto perceptiva, é a origem e o fundamento da harmonia, musical ou não. A harmonia expressa pela téttrade pitagórica logo se tornou a força que reconciliava os opostos, gerando a unidade a partir da diversidade, e variedade a partir unicidade. Dentro dessa estrutura conceitual, o monocórdio foi um instrumento científico-didático e um esquema do cosmos, o diagrama que mostrava a ordem matemática e musical do universo<sup>270</sup>. Por conseguinte, Pitágoras estendeu esse relacionamento empírico para descrever inúmeros outros aspectos da natureza<sup>271</sup>, entre eles, o movimento harmônico dos corpos celestes, descrevendo-o como a “música das esferas”<sup>272</sup> (GOZZA, 2000).

A descoberta de simples relações numéricas, que existem entre os comprimentos das cordas vibrantes que geram os sons da escala natural (Figura 200), criou uma sensação

profunda no mundo intelectual grego. Pela primeira vez os filósofos pitagóricos estavam de posse de uma lei física real, relacionando o mundo sensível dos fenômenos ao mundo ideal dos números: “*Mundum regunt numeri!*”<sup>273</sup> (“Os números governam o mundo!”). Entende-se o tipo de brilho que deve ter produzido essa inundação de luz projetada de repente na noite do desconhecido. Logo, o fato de que qualidades sensíveis, como a consonância, poderiam ser expressas por razões numéricas simples, pode ter levado os pitagóricos a esperar encontrar correspondências semelhantes em outros fenômenos, incluindo a estrutura do universo. Quando as relações numéricas para intervalos musicais foram descobertas, a Astronomia já era uma ciência bem estabelecida, cujas observações podiam ser expressas matematicamente ou geometricamente. Logo, talvez fosse inevitável que a teoria musical e a Astronomia se conectassem rapidamente.

A associação entre mecânica celeste à música teve suas primeiras teorias desenvolvidas no séc. 6 a.C., quando os jônicos examinaram progressivamente os fenômenos celestes naturais, a fim de interpretá-los. Por exemplo, eles notaram o movimento das marés do mar; eles também conheciam as fases e o movimento da Lua. Havia um elo entre esses fenômenos? Por outro lado, tentaram explicar fenômenos sonoros como ressonância, eco ou sons produzidos por instrumentos musicais como flautas, cordas e percussão. Eles acreditavam que o mundo era governado

<sup>270</sup> As relações musical-aritméticas constituíram o primeiro exemplo histórico da formulação matemática de uma lei natural. Tal descoberta, de que “está entre os avanços mais poderosos da ciência humana”, conduziu os filósofos pitagóricos a avançar na crença inabalável de que a essência de tudo é *números* e que o universo era sustentado pela *harmonia* (VAMVAKAS, 2009).

<sup>271</sup> A percepção da relação entre o comprimento de uma corda e o tom de um tom é o exemplo mais antigo da história de uma lei natural encontrada empiricamente. Naquela época, devia ter sido extremamente surpreendente descobrir uma relação entre coisas tão diferentes quanto tons musicais e proporções de números. É compreensível que os pitagóricos perguntassem: qual é a causa e qual é o efeito? Eles terminaram assumindo que a causa seria encontrada nas proporções dos números. Assim, para eles, a harmonia se tornou uma propriedade dos números; a harmonia musical ocorreu porque os números 1, 2, 3 e 4 eram números harmônicos. Para Pitágoras, a relação assim encontrada era uma prova de que os números desempenhava um papel nas coisas com as quais as pessoas estão em contato diariamente. No decorrer da história, diversas vezes as pessoas ficaram impressionadas e surpresas com um ponto de vista original, perderam de vista sua natureza especial, e acreditaram que poderiam aplicar o novo conceito em qualquer lugar. Isso também pode ser dito dos pitagóricos. O número foi tomado como fundamental em todas as ciências naturais. Eles pensaram que todo o conhecimento poderia ser reduzido a relações entre números. Por um lado, isso levou a todo tipo de especulações sobre números, mas, por outro lado, implicou um grande interesse e avanços na Matemática (BUNT, JONES, BEDIENT, 1988).

<sup>272</sup> Nessa concepção, a tal “música” não é fisicamente perceptível aos ouvidos humanos, consistindo sim em um conceito harmônico, matemático, religioso ou místico, que, desde sua origem, atravessou séculos e continuou a atrair estudiosos, cientistas e artistas até o final do Renascimento.

<sup>273</sup> Théodore (1900) enxerga isso como um marcador da Ciência, ao afirmar que, quanto mais as ciências melhoram, mais elas tendem a entrar no domínio da matemática, que é um tipo de centro para o qual elas convergem. Segundo ele, poderia-se até julgar o grau de perfeição a que uma ciência chegou pela maior ou menor facilidade com que se deixa abordar pelo cálculo. Os pitagóricos, os autores da

descoberta, foram as primeiras vítimas desse deslumbramento eufórico. Eles se perguntavam se não haviam conseguido, não apenas uma lei natural, mas a lei natural por excelência. Não era a fórmula que governava a harmonia terrestre aplicável a essa harmonia, bastante sublime, que permitia presumir a regularidade dos movimentos dos corpos celestes? Precisamente aconteceu que, adicionando as duas grandes luzes (Lua e Sol) com os planetas propriamente ditos conhecidos na época, obtiveram, assim, a figura de sete planetas, igual ao número tradicional de cordas de uma lira. Tal coincidência não parecia ser o resultado do acaso. Tornou-se o ponto de partida para essa teoria singular da harmonia das esferas, uma teoria que, sem nunca ter conquistado o apoio geral do mundo instruído, encontrou defensores inspirados até no final da antiguidade clássica, e que reapareceu além do fim do mundo antigo, nas especulações místicas da Idade Média e do Renascimento. Até a chamada “Lei de Bode” sobre as distâncias dos planetas, uma lei que recebeu o golpe final pela descoberta de Netuno, parece ser um eco atrasado da antiga fantasmagoria pitagórica (THÉODORE, 1900). Em contraponto sobre o costume de repetir que os “números governam o mundo” (*mundum regunt numeri*), Piza (1949) apresenta uma visão divergente: primeiro, equivoca-se interpretar tal frase como se os números tivessem alguma intenção e vontade de dominação. Isto, porém, não é exato, pois os números são criações do nosso espírito; nada governam. Na verdade, “os números servem para nos explicar como o mundo é governado”. O esforço em lidar com números consiste em reuni-los e pô-los à disposição dos homens da Ciência. Ensinam as enciclopédias que os homens, muito antes de se aproveitarem dos dedos, para escrever, já deles se utilizavam para contar as coisas. A superstição desde logo se apoderou dos números, e a própria filosofia grega, analisando-lhes, com a habitual sutileza, os característicos e as qualidades, deu-lhes, com Pitágoras e Platão, um papel demasiado importante na teoria das ideias. Só, modernamente, caiu em descrédito a opinião de que há “números fatídicos”. As Ciências Exatas não foi feita para criar esses números e, embora lidando, sem descontinuar, com algarismos, nenhuma força ou significação cabalística lhes atribui, limitando-se a considerá-los como insubstituível instrumento de investigação, manejado pelas ciências matemáticas, e que se presta, maravilhosamente, para o estudo dos fenômenos da vida e da natureza.



por uma teoria unitária? Foi a partir de suas indagações iniciais que surgiram a ideia da *musica universalis*<sup>274</sup> e da “harmonia das esferas”<sup>275</sup>, uma alusão à movimentação dos planetas do sistema solar e sua relação com a harmonia encontrada na música (PROUST, 2009).

As primeiras “escalas” das harmonias planetárias foram construídas sob dois sistemas principais. No sistema mais antigo, atribuído a Platão, os corpos celestes recebiam notas em uma escala, associando as distâncias entre eles e os intervalos entre as notas da escala. Em outras palavras, os intervalos musicais eram vistos como uma analogia para as distâncias. Os escritos de Platão, especificamente em uma passagem no diálogo de *Timeu*<sup>276</sup>, elaborado por volta de 360 a.C., fornece a fonte mais autorizada sobre a qual a Europa medieval aprendeu sobre música celestial. Em essência,

<sup>274</sup> A *musica universalis* (música universal) é influente em muitos aspectos da vida humana e celeste. Nesse sentido, Boécio concebeu sua influente tripartição da música: *musica instrumentalis*, *musica humana* e *musica mundana*, estabelecidas em seu Fundamentos da música. A música cósmica ou celeste (*musica mundana*) surge das estruturas e períodos harmônicos dos corpos celestes, do delicado equilíbrio dos quatro elementos e da sucessão cíclica das estações; a música dos homens (*musica humana*) compreende as estruturas harmônicas que governam o ritmo do corpo humano (pulsações cardíacas e respiração), a música contínua, mas inaudível, produzida por cada organismo humano, especialmente a ressonância harmoniosa (ou desarmônica) nas relações entre alma e corpo; e a música dos instrumentos (*musica instrumentalis*) engloba os sons produzidos por instrumentos (cordas tensionadas, percussão, soprano etc.) e vozes, que são criadores da música, seus ritmos e melodias (HICKS, 2017). Para uma pessoa moderna, a observação mais marcante a ser feita sobre essas três classes de música é sua enorme discrepância de escala. No entanto, para os pitagóricos, existia entre eles uma identidade essencial: um flautista e o cosmos poderiam “soar a mesma nota”. Isso porque, para Pitágoras, a essência, idêntica para as três, é apenas uma questão de matemática. Não havia mais diferença entre essas três classes de música do que entre um triângulo traçado na palma da mão, um triângulo formado pelas paredes de um edifício e um triângulo descrito por três estrelas: a representação de um triângulo é uma ideia eterna, e todas as suas expressões são essencialmente as mesmas (JAMIE, 1995).

<sup>275</sup> Hoje, a noção de “harmonia das esferas” é apenas um mito, que se encontra como metáfora em poemas, romances e na música. No entanto, por muitos séculos, filósofos, teóricos da música e astrônomos levaram essa ideia muito a sério, ao ponto de que nenhuma discussão séria da Astronomia ou da teoria da música ousasse omitir uma seção sobre a “música das esferas” (GINGRAS, 2003). Todavia, mesmo na Grécia antiga, a ideia da “música das esferas” não era uma unanimidade. No contexto de seu próprio modelo cosmológico, Aristóteles criticou, em seu livro *Do Céu* (de 350 a.C.), a noção de que os corpos celestes pudessem emitir um som ao se mover:

De tudo isso, fica claro que a teoria de que o movimento das estrelas produz uma harmonia, ou seja, que os sons que elas produzem é concordante, apesar da graça e originalidade com que foi afirmada, não deixa de ser verdadeira. Alguns pensadores supõem que o movimento de corpos desse tamanho deva produzir um ruído, já que em nossa terra o movimento de corpos muito inferiores em tamanho e velocidade de movimento tem esse efeito. Além disso, quando dizem que o sol e a lua, e todas as estrelas, tão grandes em número e tamanho, estão se movendo com um movimento tão rápido, por que eles produzem um som tão imenso? Partindo desse argumento e da observação de que suas velocidades, medidas pelas distâncias, estão nas mesmas proporções que as concordâncias musicais, afirmam que o som emitido pelo movimento circular das estrelas é uma harmonia. Como, no entanto, parece inexplicável que não devemos ouvir essa música, eles explicam isso dizendo que o som está em nossos ouvidos desde o momento do nascimento e, portanto, é indistinguível de seu silêncio contrário, uma vez que som e silêncio são discriminados por contraste mútuo. O que acontece com os homens, então, é exatamente o que acontece com os ferreiros, que estão tão acostumados com o barulho da ferraria que isso não faz diferença para eles. Mas, como dissemos antes, por mais melódica e poética que seja a teoria, ela não pode ser um relato verdadeiro dos fatos. Não há apenas o absurdo de não ouvir nada, cujo fundamento eles tentam remover, mas

descrevendo a construção do mundo, *Timeu* influenciou as tentativas posteriores de entender o mundo natural, misturando poesia, metafísica e matemática como uma base aparentemente científica para a sua compreensão. Segundo a ideia apresentada em *Timeu*, o mundo teria sido criado construindo uma esfera cujos componentes foram divididos de acordo com proporções correspondentes a intervalos musicais, e as unidades básicas dos objetos físicos teriam sido construídas a partir de cinco poliedros regulares, ou “sólidos platônicos” (o tetraedro, o cubo, o octaedro, o dodecaedro e o icosaedro). De acordo com o ponto de vista pitagórico exposto em *Timeu*, a sequência numérica<sup>277</sup> 1, 2, 3, 4, 8, 9 e 27 era da maior importância na determinação da estrutura do mundo<sup>278</sup>. Até esse ponto, a história lida com números; mas esses números, como explica *Timeu*, conteria tudo o que é

também há o fato de que nenhum efeito além de sensível é produzido sobre nós. Ruídos excessivos, sabemos, destroem os corpos sólidos até de coisas inanimadas: o ruído do trovão, por exemplo, divide rochas e os corpos mais fortes. Mas se os corpos em movimento são tão grandes e o som que nos penetra é proporcional ao seu tamanho, esse som precisaria chegar até nós em uma intensidade muitas vezes maior que a do trovão, e a força de sua ação deveria ser imensa. De fato, a razão pela qual não ouvimos e tampouco sentimos em nossos corpos qualquer dos efeitos da força violenta é facilmente apontada: não há barulho. [Tradução nossa a partir da versão em inglês de “On the Heavens”, de Stocks (1922). Apesar de constar e de ter sido consultada a obra já traduzida para o Português (ARISTÓTELES, 2014), preferiu-se apresentar aqui a nossa tradução, em virtude de, para o trecho em questão, ser mais objetiva nas palavras, esclarecendo melhor as ideias decorrentes).

As objeções de Aristóteles ao pitagorismo referiam-se à Metafísica e à Astronomia. Contudo, sobre razões numéricas musicais, ele concordava que elas fossem os princípios da ciência da música: “O que é a consonância? É a razão dos números no agudo e no grave. Por que o agudo harmoniza com o grave? Porque uma razão aritmética situa-se entre os dois” (GUSMÃO, 2013).

<sup>276</sup> Platão, quando visitou a Sicília, teria comprado de seus parentes o livro *Da natureza das coisas* de Filolau (ver nota de rodapé n. 242), o que teria influenciado no diálogo *Timeu*.

<sup>277</sup> Para *Timeu*, o narrador do diálogo, Deus desejava que todas as coisas fossem boas, na medida do possível. Assim, ele construiu o mundo na forma de uma esfera, que era a forma mais perfeita possível. Para isso, ele deu o melhor e mais adequado tipo de movimento, que era a rotação em torno de seu centro. Como ingredientes para o mundo, havia três tipos diferentes de coisas (não se sabe realmente como categorizar tais abstrações): o “ser”, o “mesmo” e o “diferente”. O mundo seria feito a partir da combinação dos três novos elementos intermediários. Quando Deus formou uma única amálgama, composta de todos os opostos abstratos, ele começou a trabalhar com a matemática. Ele tirou 1 parte; então ele tirou 2 partes e 3 partes; depois 4 partes e 9 partes; depois 8 partes e 27 partes. Assim, foram formadas as séries de números duplos (1, 2, 4, 8) e as séries de números triplos (1, 3, 9, 27). Esses números (1, 2, 3, 4, 8, 9 e 27). Assim, sob a influência da teoria dos números pitagóricos, Platão sugeria que a harmonia do mundo poderia ser expressa pela combinação dessas duas progressões geométricas. Contudo, ressalta-se que tais harmonias de Platão foram, claramente, ditadas por considerações racionais e estéticas expressadas poeticamente, ou seja, com pouca consideração pelo quão bem elas concordavam com possíveis medições ou observações (STEPHENSON, 1994).

<sup>278</sup> Platão acreditava que as proporções entre seus números harmônicos poderiam ser responsáveis não apenas por todos os aspectos das consonâncias musicais, mas constituindo inclusive em um sistema harmônico que poderia ser usado como modelo para arquitetura, pintura e outras artes. As proporções e harmonias visuais encontradas na arquitetura do Renascimento demonstram a nítida influência da teoria pitagórica-platônica sobre os arquitetos renascentistas. Por exemplo, um dos maiores símbolos do Renascimento, em virtude de sua expressividade e beleza, a obra

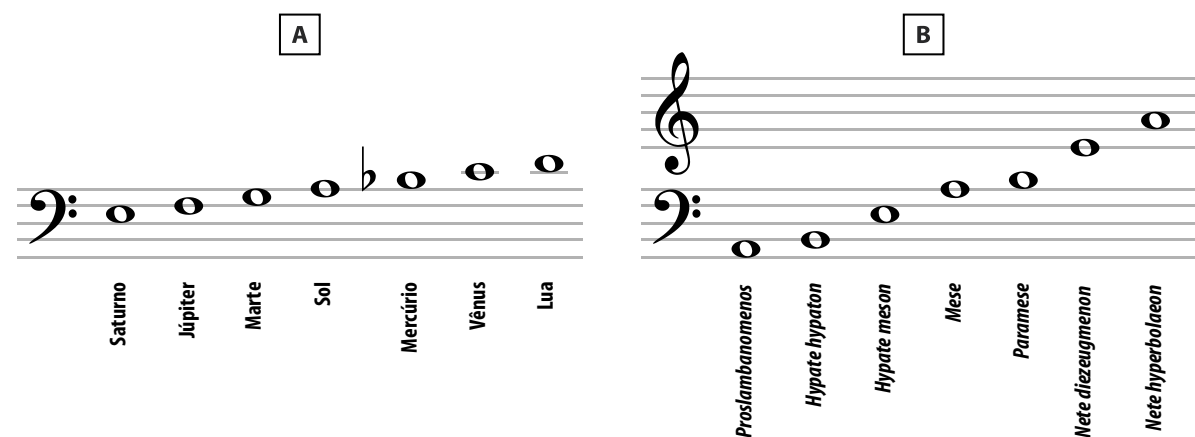
essencial na harmonia musical. A partir do raciocínio de Timeu, ao entendimento das órbitas planetárias extrapolou-se, então, que as distâncias platônicas descreviam a harmonia dos planetas e suas respectivas correspondências de notas musicais, conforme mostrado na **Tabela 7** e ilustrado na **Figura 201**, **Figura 202**, **Figura 203** e **Figura 204** (STEPHENSON, 1994).

Tabela 7 – Harmonias platônicas		
Corpo celeste	Distância (?) <sup>(1)</sup> acima da Terra	Intervalo do planeta precedente
Lua	1	-
Sol	2	Oitava
Vênus	3	Quinta
Mercúrio	4	Quarta
Marte	8	Oitava
Júpiter	9	Tom <sup>(2)</sup>
Saturno	27	Oitava+Quinta

Fonte: adaptado de Stephenson (1994).

<sup>(1)</sup> A interrogação (?) constante na fonte original, indica, provavelmente, a pressuposição do autor de que os números dos harmônicos platônicos se referem às respectivas distâncias dos corpos em relação à Terra.

<sup>(2)</sup> O *tom*, também conhecido como *tom pitagórico diatônico* ou *segunda maior*, é definido como a diferença entre uma quinta e uma quarta, correspondendo a uma proporção de 9/8.



**Figura 201** – Escalas musicais planetárias propostas por: **(A)** Nicômaco; e **(B)** Ptolomeu. Fonte: adaptado de Stephenson (1994) e Gingras (2003).

*Primavera* (1482), de Sandro Botticelli, possui um simbolismo enigmático que foi inspirado pela noção neoplatônica de harmonia da criação, refletida nas correspondências dos personagens mitológicos às oito esferas planetárias e aos tons da oitava musical (LAWLOR, 1982; VOSS, 1998; THOMPSON, 2000).

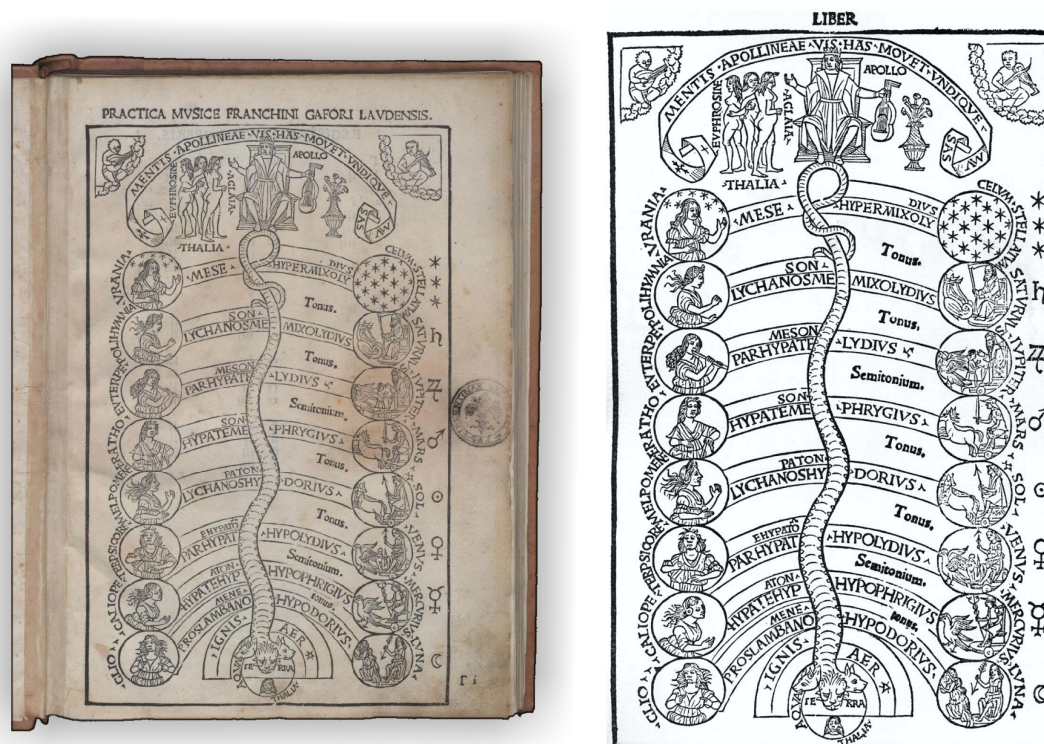
<sup>279</sup> Nicômaco de Gerasa (c. 60–c. 120) foi um importante matemático e filósofo neopitagórico. Ficou conhecido por seus trabalhos *Introdução à Aritmética* e *Manual de Harmônica* (*Manuale harmonicum*). Esta segunda obra é o primeiro tratado importante sobre teoria musical desde os tempos de Aristóxeno de Tarento [c. 360 – c. 300 a.C., filósofo grego e teórico da música] e Euclides de Alexandria [c. 300 a.C., matemático grego, referido como o “fundador/pai da geometria”. Nicômaco fornece o registro mais antigo sobrevivente da lenda da epifania de Pitágoras, sobre os sons produzidos em um ferraria, cujo tons foram determinados por razões numéricas. Nicômaco também

Em um segundo sistema, que apareceu mais tarde, foram atribuídas notas a planetas específicos em relação à sua velocidade de movimento. Alguns autores, como Nicômaco<sup>279</sup> (**Figura 201-A**), usaram notas sucessivas da escala, enquanto outros usavam apenas notas que constituíam limites de uma tetracorde. O *Harmônico*, de Ptolomeu<sup>280</sup>, um dos tratados mais influentes sobre teoria musical, e uma fonte importante para Kepler, apresentou esse segundo sistema (**Figura 201-B**) (STEPHENSON, 1994; GINGRAS, 2003).

Durante a Idade Média, embora a noção de música das esferas tenha sido mantida viva como uma metáfora literária, a tradição foi ficando cada vez mais petrificada e transmitida apenas por meio da reprodução de textos antigos. A situação mudaria drasticamente durante o Renascimento, pois a descoberta da Antiguidade, combinada com importantes progressos na Astronomia, instilou uma vitalidade renovada nessa tradição moribunda (GINGRAS, 2003).

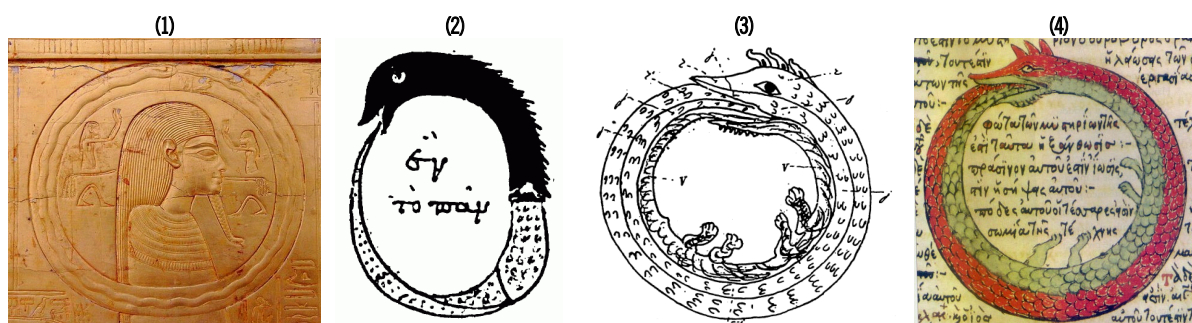
faz o primeiro relato aprofundado da relação entre a música e a ordenação do universo por meio da “música das esferas”.

<sup>280</sup> Cláudio Ptolomeu [90–168 d.C.], cientista, matemático e astrônomo grego. Para Ptolomeu, as afinações e as notas devem ser encontradas na natureza, senão não será possível encontrar a harmonia “oculta” ao ouvi-las, e nem poderão ser repetidas eterna e identicamente, seja nos sistemas musicais, pela alma humana ou no sistema planetário. O sistema de correspondências entre astronomia e harmônica desabrocha magistralmente no Livro 3 do *Harmônico*, em capítulos intitulados “Como a sucessão das notas é similar ao movimento longitudinal das estrelas”, “Como o movimento das estrelas em altitude é comparável aos gêneros harmônicos” ou “Da similaridade dos tetracordes com os aspectos do Sol” (GUSMÃO, 2013).



**Figura 202** – Famoso frontispício de *Practica Musicae*, de 1496, obra de Franchino Gaffurio [1451–1522]. A imagem retrata um cosmo talismânico envolvendo a interação entre: à direita, os sete “planetas”/corpos celestes (*Luna, Mercurius, Venus, Sol, Mars, Iupiter, e Saturn*) e as estrelas fixas (*celum stellatum*) e os correspondentes modos gregos (*Hypodorius, Hypophrygius, Dorius, Phrygius, Lydius, Mixolydius* e *Hypermixoly*) e notas musicais (*tonus* e *semitonium*) que somam 2 oitavas da escala grega; e, à esquerda, as musas e respectivos efeitos éticos dos modos e os tipos de humor dos seres humanos. Na parte superior está o deus Apolo, cujo poder de mente desperta a atividade das musas e põe em movimento toda a harmonia, simbolizada pelo corpo semelhante ao *ouroboros*<sup>281</sup> do Cerberus de três cabeças, conectando o céu e a Terra como o cordão de um monocórdio.

<sup>281</sup> O *ouroboros* ou é um símbolo antigo que descreve uma serpente ou dragão comendo sua própria cauda [Figura (A)]. Representações desse símbolo foram documentadas já nos séculos 13 e 14 a.C. no antigo Egito (ENCYCLOPAEDIA BRITANNICA, 2020). O ouroboros entrou na tradição ocidental através da iconografia egípcia antiga e da tradição mitológica grega, tendo sido adotado como um símbolo no Gnosticismo, Hermetismo e, mais notavelmente, na alquimia.

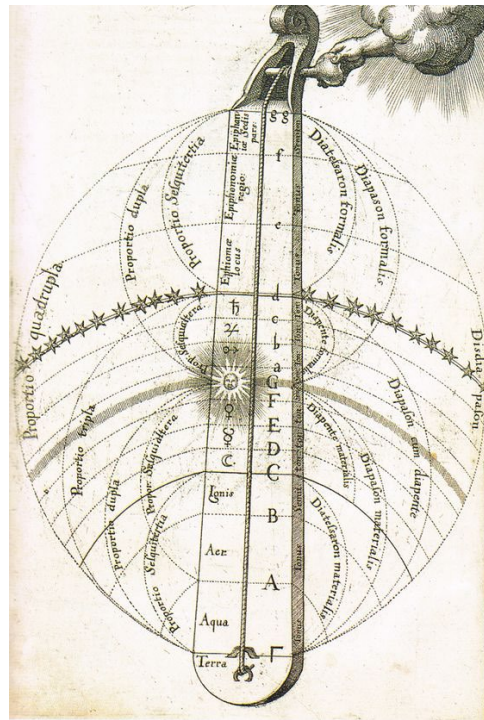


**Figura (A) da nota de rodapé n. 281** – Diferentes representações antigas do ouroboros: (1) Primeira representação conhecida do ouroboros, do séc. 14 a.C., em um dos santuários egípcios que cercam o sarcófago de Tutancâmon. (2) Antiga ilustração alquímica de ouroboros com as palavras “O Tudo é Um” contido na obra *Cleópatra, a Alquimista*, de 299 a.C. (3) e (4) Ilustração original do séc. 13 e respectiva cópia mais completa (colorida), do séc. 15. Fontes: (1) Djehouty (2016); (2) e (3) Sheppard (1962); (4) Adanero (2007).

O *Hermetismo* é a base de vários sistemas filosóficos inspirados em Hermes Trismegisto, uma figura helenística lendária que se originou como uma combinação sincrética do deus grego *Hermes* e do deus egípcio *Thoth*. Ele é o suposto autor da *Hermetica*, uma diversificada série de textos antigos e medievais. Em *Caibalion* (Três Iniciados (2017), versão em Português; e Three Initiates (1908), versão original em Inglês) – livro que afirma conter uma coletânea da essência dos ensinamentos de Hermes, tal como ensinados nas escolas herméticas do Antigo Egito e da Antiga Grécia – constam sete principais leis herméticas, das quais se destacam três que remetem à noção de conceitos já tratados anteriormente [*oscilação, harmonia* (equilíbrio dos opostos) e *ritmo*]:

- *O princípio da vibração*. Nada está parado; tudo se move; tudo vibra;
- *O princípio da polaridade*. Tudo é duplo; tudo tem dois polos; tudo tem seu par de opostos; igual e desigual são a mesma coisa; os opostos são idênticos em natureza, mas diferentes em grau; os extremos se encontram; todas as verdades são apenas meias-verdades; todos os paradoxos podem ser reconciliados; e

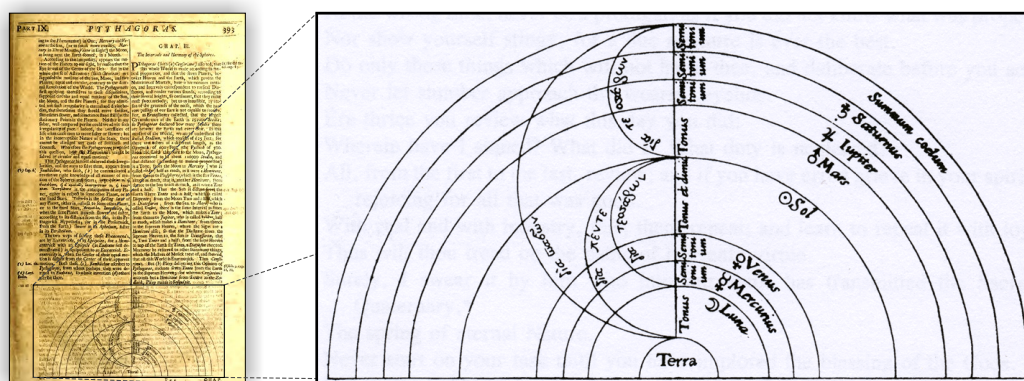
Na parte inferior, o diagrama inclui os quatro elementos terra, água, ar e fogo (*terra, aqua, aer e ignis*). A presença das musas sugere o cosmo animado de magia e poder de uma linguagem poética, mítica, emblemática e simbólica para evocar essas correspondências, que foi um ponto de partida totalmente novo para a teoria musical sob a influência do avivamento clássico. Sugerindo o cosmo animado de magia, a presença das musas foi instigadora do furor poético renascentista, tornando-se uma motivação primária para a terapêutica musico-espiritual do início daquele período. Assim, a *Practica Musicae* estabeleceu um sistema no qual o cosmos, a música e o caráter moral podiam se interligar. Pela primeira vez desde a antiguidade, a “música das esferas” foi apresentada simbolicamente, e não como resultado de movimentos planetários ou distâncias calculadas. Fonte: à esquerda, original digitalizado disponível em Gaffurius (1496); à direita, retirado de Fenlon e Wistreich (2017), p. 484.



**Figura 203** – Resumo a teoria da “música universal” elaborada pelo médico inglês Robert Fludd [1574–1637]. Em 1618, Fludd desenhou a *Musica mundana* como a invenção de um “monocórdio mundano” (também “monocórdio celestial” ou “divino”) que ligava o universo ptolomaico a intervalos musicais. Ele sugeriu que a distância relativa entre os astros poderia ser deduzida pela matemática de suas harmonias musicais. O intervalo entre a Terra (parte inferior) e o céu (parte superior) é considerado uma oitava dupla, mostrando assim os dois extremos da existência em harmonia. O Sol é uma oitava inferior do céu, e a Terra é uma oitava inferior do Sol. Fonte: original digitalizado e disponível em Fludd (1617).

- *O princípio do ritmo.* Tudo flui, para fora e para dentro; tudo tem suas marés; todas as coisas sobem e descem; a oscilação do pêndulo se manifesta em tudo; a medida da oscilação para a direita é a medida da oscilação para a esquerda; o ritmo é a compensação (equilíbrio).

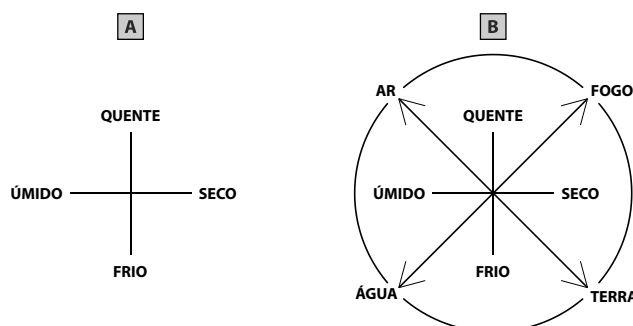
Retomando sobre o ouroboros, ele possui um formato circular em alusão à continuidade; unindo em si mesmo o princípio e o fim, cujo significado inicial referia-se, sobretudo, à perpetuidade cíclica, à inevitável e regular renovação dos ciclos, em sua sucessão ininterrupta que forma a eternidade. Podendo adquirir diversificados significados, inclusive na vertentes mística, alquimista, “mágica” e/ou exotérica, o emblema é frequente e genericamente interpretado como um símbolo que expressa a unidade de todas as coisas, materiais e espirituais, que nunca desaparecem, mas mudam perpetuamente de forma em um eterno ciclo de destruição e recriação (ENCYCLOPAEDIA BRITANNICA, 2020). De modo geral, remete-se, assim, às ideias do infinito, eternidade/perpetuidade, renovação cíclica eterna, imortalidade ou um ciclo de vida (morte e renascimento). É provável que, aos olhos dos antigos, essas renovações fossem representadas por essa característica que as cobras têm de trocar periodicamente de pele, pois acreditavam que ao fazer a “nova pele”, o réptil até renovava a própria vida. Segundo Shanzer e Martianus (1986), o ouroboros na verdade teria surgido na cultura egípcia antes mesmo da invenção do alfabeto: no caso, uma serpente mordendo a própria cauda porque se repete sobre si mesma consistia em uma imagem que simbolizava o ciclo anual. Van der Sluijs e Peratt (2009) acrescentam que, nas tradições egípcias mais antigas, a ênfase estava nas associações dos ouroboros com o deus do sol, a criação do mundo, o oceano circular, a escuridão ou o submundo pensado para cercar a terra e um combate mítico. Como símbolo do Sol, o ouroboros poderia ser interpretado como a representação do caminho aparente do Sol na abóboda celeste. Conforme Bekhrad (2017), o símbolo “refere-se ao mistério do tempo cíclico, que reflui em si mesmo”. Os antigos egípcios entendiam o tempo como uma série de ciclos repetitivos, em vez de algo linear e em constante evolução; e central para essa ideia era a inundação do Nilo e a movimentação do Sol no céu. A inundação do Nilo no verão marcava o início do ano e servia como uma metáfora do tempo cíclico, fluindo de volta para si mesmo como um círculo permitindo a renovação. Da mesma forma, acreditava-se que o Sol era a fonte do tempo cíclico, empreendendo uma jornada noturna para as águas de *Nun* (uma espécie de vazio primordial), repleto de todos os tipos de obstáculos, de onde encontraria o caminho de volta ao céu. Em suma, o ouroboros, em seu contexto egípcio original, simbolizava repetição, renovação e o eterno ciclo do tempo. A partir da antiguidade tardia, o ouroboros adquiriu significados mais sofisticados, incluindo uma ligação com a banda eclíptica ou o zodíaco, os nodos lunares, o processo alquímico e a eternidade. Na mitologia greco-romana, as imagens por ela utilizadas fizeram de ouroboros o atributo do deus *Saturno/Cronos*, que representava o Tempo e a quem os gregos chamavam de Chronos. Comparável à divindade Aion (ver item “1.6.2.3. Mitologia Grega – Deus Aion”, p. 68) como símbolo do tempo cíclico, *Cronos* geralmente é retratado como um velho sábio com uma espessa barba grisalha.



**Figura 204** – No conceito pitagórico da música das esferas, o intervalo entre a Terra e a esfera das estrelas fixas era considerado uma oitava, o intervalo harmônico mais perfeito. O arranjo apresenta os intervalos musicais entre a Terra, os planetas, o Sol e a Lua. A soma desses intervalos é igual aos seis tons inteiros da oitava. Fonte: retirado do original da obra *História da Filosofia*, do autor e tradutor inglês Thomas Stanley [1625–1678], de 1701, digitalizada e disponível em Stanley (1701, p. 393).

A visão harmoniosa do mundo de Pitágoras era bastante satisfatória, e por ser facilmente adaptada a qualquer linha da filosofia, o corpo preciso de crenças atribuídas a ele foi altamente significativo no Renascimento, especialmente naquela época em que o misticismo e a Ciência não haviam se dissociado. Logo, para a visão de mundo renascentista, foi fundamental a descoberta pitagórica das relações matemáticas na harmonia musical e a aplicação dessas proporções

harmônicas ao universo físico (HENINGER, 1961). Pitágoras foi creditado por ter originado o termo *cosmos*. E como seria de esperar, esse cosmos é representado em um desenho geométrico, uma *tétrade*<sup>282</sup>. Dispostas em um quadrado, estavam as quatro qualidades básicas, contrárias uma à outra: quente oposto ao frio; e seco oposto ao úmido. Os quatro elementos, participando dessas quatro qualidades, também formavam uma *tétrade* (Figura 205).



**Figura 205** – Tétrades pitagóricas das qualidades e dos elementos. (A) Tétrade das qualidades básicas antagônicas: quente/frio e úmido/seco; (B) Tétrades dos elementos, em conjunção com as qualidades básicas. Fonte: adaptado de Heninger (1961).

<sup>282</sup> Complementando o que já foi introduzido na nota de rodapé n. 269: a ideia de *cosmos* era uma tese central do pitagorismo, e a *tétrade* – às vezes chamada de “quatérnio” – era o símbolo que expressava esse princípio abrangente. A *tétrade* era o padrão básico que subsiste por todo o universo. Consequentemente, existem não apenas quatro elementos (terra, ar, fogo e água), mas também: quatro estações (primavera, verão, outono, inverno); quatro magnitudes [ponto, linha, superfície (ex: triângulo) e sólido (ex: pirâmide)]; quatro níveis da sociedade [bandos de homens caçadores-coletores, sociedades tribais, estruturas estratificadas lideradas por caciques (ou cidades), e civilizações com hierarquias sociais complexas e organizadas, com governos institucionais (nação)]; quatro fases do desenvolvimento do homem [infância (*puentia*), adolescência (*adolescencia*), juventude adulta (*iuventus*) e velhice/senectude (*senectus*); quatro pontos cardeais (norte, sul, leste e oeste); quatro ventos cardeais [na mitologia grega, cada umas das quatro direções cardeais possuíam como equivalentes quatro deuses dos ventos (*Anemoi*): *Bóreas* (vento norte), *Noto* (vento sul), *Zéfito* (vento oeste) e *Euro* (vento leste)]; quatro temperamentos/humores [conforme a teoria humoral de Hipócrates: colérico (bilis amarela, *xanthe cholé*), sanguíneo (sangue, *haima*), fleumático (fleuma, *phlegma*) e melancólico (bile negra, *melaina cholé*); quatro faculdades mentais (razão,

conhecimento, opinião e sensação); quatro virtudes cardeais [conforme concebidas por Platão: prudência (*prudentia*), fortaleza (*fortitudo*), temperança (*temperantia*) e justiça (*iustitia*); as quatro causas [propostas por Aristóteles: causa material (*materialis*), causa formal (*formalis*), causa final (*finalis*) e causa eficiente (*efficiens*); os quatro caminhos [*quadrivium* ou *quatro vice in unum*, do latim “quadrívio”, “quatro vias em um” ou “cruzamento de quatro vias”, representando as quatro disciplinas da segunda parte do *curriculum* delineado por Platão: Aritmética (o número puro), Geometria (o número no espaço), Música (o número no tempo) e Astronomia (o número no espaço e tempo); “*Mus. canit, Ar. numerat, Geo. ponderat, Ast. colit astra*” – “A Música canta, a Aritmética conta, a Geometria pesa, a Astronomia se ocupa dos astros” e, assim por diante, *ad infinitum*. (FLEMING, 1858; HENINGER, 1961; BERTATO, 2008). Indica-se SWISS SOCIETY FOR SYMBOL RESEARCH (2019) como um acervo extenso e acessível que ilustra, com inúmeras imagens em diferentes contextos, casos de figuras medievais que remetem ao simbolismo do número quatro.

Usando a terminologia de Empédocles<sup>283</sup>, pode-se ver que o “conflito” operando entre os opostos produziria um impulso externo tendendo a perturbar o cosmos. Mas o “amor”, entre os elementos que compartilham uma qualidade comum (por exemplo, o ar e o fogo, compartilham a qualidade de “calor”), formaria uma tensão em torno da circunferência do círculo. O sistema é estável porque é harmonioso, porque incorpora extremos. Nesta configuração, há um equilíbrio perfeito de tensões, uma reconciliação de opostos, um arranjo ordenado de um todo unificado. Nas palavras de Nicômaco: “a harmonia sempre surge de opostos; pois harmonia é a unificação do diverso e a reconciliação do contrário” (HENINGER, 1961).

Depois de delinear o mecanismo da harmonia para o cosmos, a lógica de Pitágoras foi aplicado como padrão às várias categorias da existência:

Em uma palavra, a tétrede contém e une todos os seres, os Elementos, Números, Estações do ano, Idades, Sociedades ou Comunidades; e é impossível nomear qualquer coisa que não dependa desse Número, sendo este sua Raiz e Princípio; Pois, como dissemos antes, a tétrede é o Criador e a Causa de todas as coisas. O Deus Inteligível é a Causa do Deus Celestial e Sensível [tradução nossa de “Comentários de Hércules<sup>284</sup> sobre os Versos Dourados de Pitágoras” a partir da versão em inglês de Dacier (1707)<sup>285</sup>].

Admitindo o pensamento de que a tétrede é onipresente, ela foi usada no Renascimento para representar o primeiro princípio em muitos campos diferentes do conhecimento:

<sup>283</sup> Empédocles [494–c. 434 a.C.], seguidor de Pitágoras, foi um filósofo grego pré-socrático. Sua ideia mais conhecida é a teoria cosmogônica dos quatro elementos clássicos (água, terra, ar e fogo). Ele também propôs que forças do “Amor” e do “Conflito” que, respectivamente, misturariam e separariam os elementos. Após sua proposição, essa teoria dos quatro elementos de Empédocles se tornou o dogma padrão para os dois mil anos seguintes.

<sup>284</sup> Hércules de Alexandria foi um escritor neoplatonista grego que atuou por volta de 430 d.C.

<sup>285</sup> Na versão original em inglês, *Hierocles upon the Golden Verses of Pythagoras*, que possui uma versão digitalizada disponível em Dacier (1707), assim consta (p. 319-320):

In a Word, the Quaternion contains and binds together all Beings whatsoever, the Elements, Numbers, Seasons, Ages, Societies or Communities; and it is impossible to name any one single thing, that depends not on that Number, as on its Root and Principle; For, as we said before, the Quaternion is the Creator and the Cause of all things. The Intelligible God is the Cause of the Heavenly and Sensible God.

Em Heninger (1961, pg. 15), o mesmo trecho possui algumas sutis diferenças no texto, sendo assim apresentado, em inglês:

Indeed the Tetrads cement all things that have any existence together, as the Elements, Numbers, Seasons of the year, and periods of Age. Neither are we to doubt that these flow not from the Tetrads as the root and spring: for the Tetrads, as we said before, is in the Creator and cause of all things, the Intellectual God, the Sonne of the Celestial and Sensible God.

Todo o fundamento de todo estudo e invenção profunda deve ser estabelecido com base no número quatro, porque é a raiz e princípio de todos os números” [Primaudaye<sup>286</sup>, em *L'Académie Française*, de 1577; traduzido a partir de Heninger (1961) p. 170].

Pitágoras, ao dividir a vida do homem em quatro eras (criança, jovem, adulto, e homem velho), comparou essas idades às quatro estações, relacionando assim a experiência humana ao ciclo natural. Tal alegoria inspirou poetas do tempo de Edmund Spenser<sup>287</sup>, como por exemplo, Barthelemy Aneau<sup>288</sup> no excerto:

Primavera, verão, outono, inverno: estas são as quatro estações dos anos que passam. Um homem saudável também desfruta de quatro estações da vida: ele é primeiro um menino, depois um jovem, logo um homem e, a partir daí, envelhece. Assim, o ciclo da vida, que é como o mundo eterno, prova que nós homens somos eternos da mesma maneira [tradução nossa a partir da versão em Inglês<sup>289</sup> de Barthelemy Aneau, em sua obra *Picta poesis*, cuja correspondente imagem original digitalizada (**Figura 206**) está disponível em Aneaus (1552).

Na literatura renascentista e suas respectivas ilustrações, a concepção do mundo como composto pelos 4 elementos evidencia a integração com o ano (composto pelas 4 estações) e o homem (composto pelos 4 humores), conforme ilustrado na **Figura 206** e **Figura 207**.

<sup>286</sup> Pierre de La Primaudaye [1546–1619] foi um escritor francês particularmente conhecido por sua obra *L'Académie Française*, de 1577, que resumiu o conhecimento filosófico e científico da época. Como um compêndio em prosa de conhecimento científico, moral e filosófico, tal obra pode ter sido usada como fonte por Pier Angelo Manzolli [pseudônimo usado, no livro *Zodiacus Vitae* (O Zodíaco da Vida), por Marcellus Palingenius Stellatus c.1500 – c.1551], cuja obra foi fonte shakespeariana em várias peças (GILLESPIE, 2001).

<sup>287</sup> Edmund Spenser [1552-1599], poeta inglês, considerado um dos melhores ícones da poesia na língua inglesa.

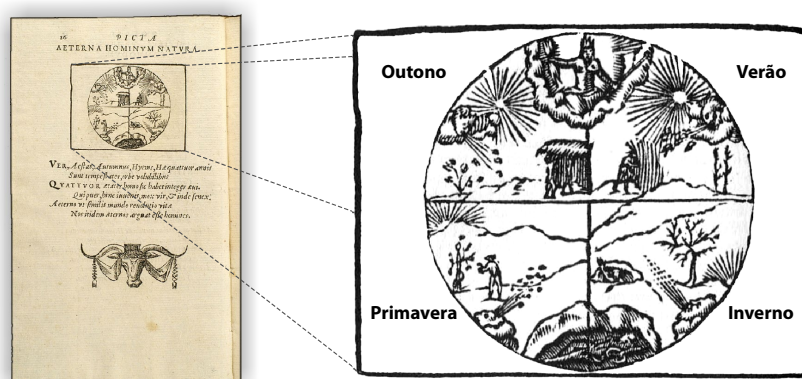
<sup>288</sup> Barthélémy Aneau (c.1510-1561) foi um poeta e humanista francês.

<sup>289</sup> Assim consta no original ANEAU (1552):

Spring, Summer, Autumn, Winter: these are the four seasons of the turning years. A healthy man, too, enjoys four seasons of life: he's first a boy, then a youth, soon a man, and from there he grows old. So the cycle of life, which is like the eternal world, proves we men are eternal in just the same way.

Em Heninger (1974) consta uma outra versão em Inglês, com sutis diferenças:

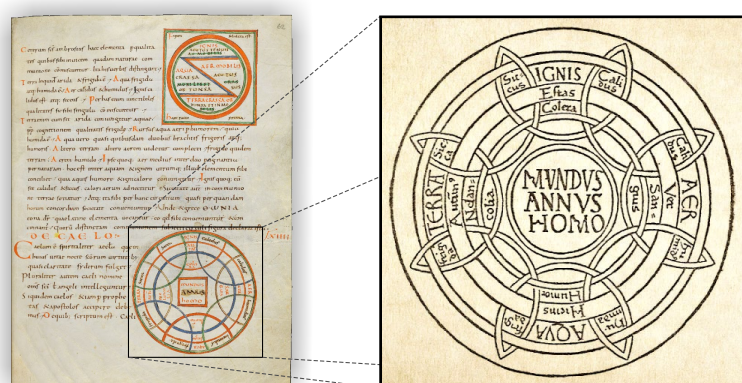
Spring, summer, autumn, winter - these are the four seasons as the years roll by in a cycle. Likewise man in his lifetime has four ages: he is first a child, then a youth, next an adult, and finally an old man - so that the cycle of human life, like the undying world, reveals to us that men are undying.



**Figura 206** – Emblema intitulado “A natureza imortal do homem” (*Aeterna hominum natura*), retirado da obra *Picta poesis* (1552), de Barthelmy Aneau. O emblema consiste em um círculo que representa a eternidade, dividida em quatro quartos, representando as estações do ano como as partes mensuráveis da duração do tempo. Juntos, os quatro trimestres compreendem o ano, a unidade básica do tempo. O Sol está: nascendo no trimestre da primavera; no auge no trimestre do verão; se pondo no trimestre do outono; e ausente no trimestre do inverno. Em cada trimestre há uma vegetação apropriada à estação: amadurecimento de grãos na primavera; colheita de grãos no verão; árvore com folhas caindo no outono; árvore sem folhas no inverno. A cada trimestre, um homem busca uma ocupação adequada: cultivar seus grãos; cortá-los; colher frutas; e se acomodar em uma caverna durante o inverno. Em cada quadrante sopra um deus do vento, distribuindo flores, folhas, granizo ou rajadas frias, assim sugerindo a onipresença do *anima mundi* (do latim, “alma do mundo”, representado pelo vento). No final do diagrama, um cadáver repousa em uma sepultura, indicando que o fim do ciclo do homem é a morte. Mas, ao contrário, no topo, presidindo o todo, há um raio e um cetro resplandecentes, indicando não apenas que a providência divina é contínua, mas também que ele é coexistente com a eternidade. Fonte: à esquerda, original retirado de Aneau (1552); e à direita, adaptado de Heninger (1974).

No diagrama circular da **Figura 207**, tudo (*annus-mundus-homo*) é inter-relacionado, unificado e harmonioso. Essas correspondências entre os elementos, as estações do ano e os humores eram comuns na literatura clássica, medieval e renascentista. Os delicados entrelaçados da supracitada figura exprimem os típicos traços medievais, bem conservados e representados. No topo, o fogo, que participa das qualidades de secura e calor, é o correspondente

do verão e ao humor da cólera. À direita, o ar, que compartilha das qualidades calor e umidade, corresponde à primavera e ao humor sanguíneo. Na parte inferior, a água, que possui as qualidades umidade e frio, corresponde ao inverno e à fleuma. À esquerda, a terra, que partilha das qualidades frieza e secura, corresponde ao outono e ao humor de bile negra (melancolia) (HENINGER, 1961, 1974).



**Figura 207** – Diagrama circular, denominado de “rota”, retirado da obra, *De natura rerum* (“Sobre a Natureza das coisas”), de c. 612–615 d.C., de autoria de Isidoro de Sevilha<sup>290</sup>. O diagrama *Annus-Mundus-Homo* expressa uma combinação do pensamento grego sobre a natureza do universo e o estado da humanidade. A cosmologia grega antiga de Empédocles, Pitágoras e Platão começa com duas propriedades da matéria e suas oposições – calor/frio, úmido/seco. Quando combinadas, essas

<sup>290</sup> Isidoro de Sevilha [c. 560–636 d.C.] foi arcebispo de Sevilha. Como o primeiro enciclopédico da Idade Média, é considerado um dos maiores estudiosos da antiguidade antiga.

propriedades formam os quatro elementos básicos – terra (*terra*), ar (*aer*), fogo (*ignis*) e água (*aqua*) – exibidos em oposição lógica ao longo das direções cardinais da figura. Fogo e água são opostos, assim como a terra e o ar. Esses elementos estão vinculados por propriedades compartilhadas. Por exemplo, fogo e ar compartilham a propriedade quente (*calidus*); água e ar compartilham propriedade de umidade (*humidus*) e assim por diante. Dois conjuntos adicionais de relacionamentos estão em camadas no diagrama. O primeiro conjunto contém as quatro estações do ano: verão (*aestas*), outono (*autumns*), inverno (*hiems*) e primavera (*ver*) exibidas como opostos racionais em torno da rota na ordem anti-horária. O segundo conjunto está relacionado ao conceito dos quatro humores<sup>291</sup> da medicina hipocrática usados para descrever o temperamento humano. Eles são exibidos no sentido horário dentro do anel mais interno da rota como bile (*colera*), sanguíneo (*sanguis*), fleumático (incorretamente apresentado como *humor* em vez de *pituuta*) e melancolia (*melanccoly*). Essa rota alinha o cósmico ao humano, promulgando tanto a noção grega antiga quanto a tese de Isidore de que o homem é uma pequena escala (microcosmo) paralela ao universo (macrocosmo). É também um esquema visual para orientar o pensamento multinível. O centro da rota aponta para três níveis de envolvimento: o observador (*homo*), o mundo (*mundus*) e o ano (*annus*). Os anéis concêntricos de informação sublinham as relações dinâmicas neles, como a mobilidade de elementos de fogo para ar para água para terra; os ciclos das estações; ou as transições nas qualidades de quente para úmido para frio e para seco (MARCHESE, 2013). Fonte: imagem à esquerda – original digitalizado e disponível em Hispalensis (c. 612); imagem à direita: retirado de Heninger (1961), versão de 1472 da obra *De natura rerum*.

A música tem sido parte de rituais comunitários, integrando diversos elementos presentes na vida coletiva da humanidade desde seus princípios. Os vínculos entre música e astronomia remontam, pelo menos, aos primeiros dias da astronomia grega. A ideia de associar a música ao universo era parte essencial de toda uma perspectiva que tentava encaixar toda a natureza em um padrão abrangente. A busca do valor da música e da educação musical iniciada na Grécia atribuiu uma excepcional importância à música: para o grego antigo, a música era um fator vital para considerar o bem-estar do homem e sua relação com o mundo, e nas mãos de Pitágoras (séc. 6 a.C.) seus aspectos astronômicos foram finalmente enunciados; para Sócrates, a filosofia não era mais que o ponto culminante da música; já Platão, considerava, como música, todas as artes do ritmo, declarando ser a “música parte principal da educação porque o número e a harmonia introduzem-se de bom grado na alma do jovem; com eles, entram a graça e a virtude desde a mais tenra idade” (RONAN, 1975; NEVES, 2013).

Atribui-se a Pitágoras [570 – 495 a.C.] o crédito do estabelecimento da correspondência entre intervalos musicais e razões matemáticas em uma corda de um

instrumento musical<sup>292</sup> (ADDOUNUR, 2014). No que diz respeito aos céus, Pitágoras e seus seguidores fizeram uso das ideias harmônicas fundamentais, sugerindo que as esferas planetárias eram separadas por distâncias baseadas nas proporções encontradas para cordas vibrantes, separações que produziam uma harmonia celestial que somente os iniciados podiam ouvir. Mais tarde, no séc. 4 a.C., essa ideia foi seguida por Platão, que ensinou que o universo tem uma alma e que os movimentos planetários subjacentes poderiam, como notas musicais harmoniosas, ser expressos em uma progressão harmônica (RONAN, 1975).

Baseado em intervalos musicais em razões matemáticas, de acordo com os seguidores de Pitágoras e apoiado por observações empíricas, Ptolomeu descreveu os harmônicos, relacionando as harmonias musicais com as propriedades das proporções matemáticas derivadas da produção de sons em si. Ptolomeu escreveu sobre como as notas musicais poderiam ser traduzidas em equações matemáticas e vice-versa. Essas harmonias ele considerou estar distribuído em todos os aspectos do universo físico, incluindo fenômenos dos planetas e da alma humana.

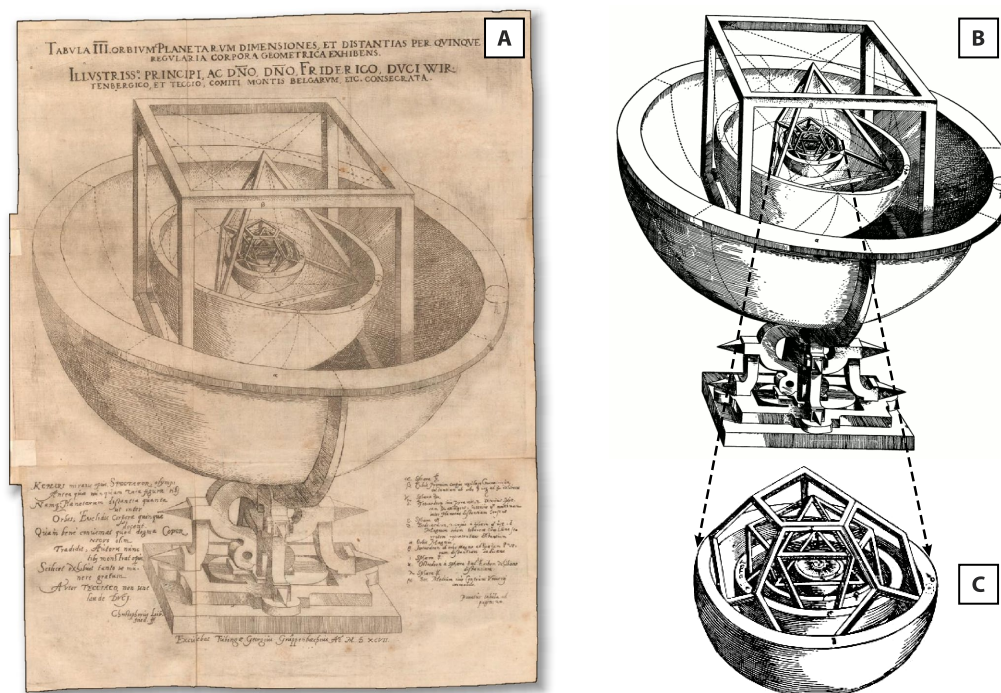
<sup>291</sup> Conforme já introduzido na nota de rodapé n. 282, a teoria dos quatro humores foi proposta por Hipócrates e sua obra *Da natureza do homem*. Segundo esta teoria, o homem é composto de sangue, fleuma, bile amarela e bile negra, e sua saúde é resultado do equilíbrio entre essas quatro matérias vitais. A partir dessa tese, Políbio [c. 400 BC], genro e pupilo de Hipócrates, estabeleceu uma relação entre os quatro humores e as quatro estações do ano (CAIRUS; RIBEIRO, 2005, pg 41): Assim, para Políbio, a natureza humana é o composto harmônico e interativo dos quatro elementos do corpo humano que, por afinidade física e natural, comportam-se conforme a natureza do cosmos para gerar a saúde ou a doença, conforme o estilo de vida e alimentação adotados. Para provar tal tese, Políbio sugeriu aferir a natureza das mencionadas substâncias e compará-las com os elementos físicos da matéria em seus movimentos cósmicos, a saber: a *fleugma*, é fria e úmida, origina-se no cérebro e tem afinidade com a estação do inverno; a *bile amarela* é quente e seca, tem origem no fígado e se identificaria com o verão; a *bile negra* seria fria e seca, produzida no baço, identificando-se com o outono; e o *sangue* seria quente e úmido, circulando por todo o corpo, identificando-se com a primavera (PROVETTI, 2015).

<sup>292</sup> Atualmente mais lembrado por seu teorema sobre o triângulo retângulo, Pitágoras também fez avanços substanciais na aritmética e, mais importante do ponto de vista da harmonia musical, estudou os comprimentos das cordas vibrantes e as notas que elas produzem. Ele descobriu que havia relações numéricas simples entre os comprimentos necessários para dar uma nota, sua oitava e sua quarta. Por exemplo, se a nota básica precisasse de uma corda com 12 unidades de comprimento, a nota com uma quarta maior exigiria uma corda com comprimento de 8 unidades, e a oitava, exigiria um comprimento de 6 unidades. Os números 12, 8 e 6 formam uma progressão harmônica na qual 8 é a média harmônica (definida como recíproca da média aritmética dos recíprocos de duas quantidades). Pitágoras chegou até a estender esse conceito de harmonia à geometria, falando do cubo como uma figura de “harmonia geométrica”, porque possui 12 arestas, 8 cantos e 6 faces (RONAN, 1975).



Embora os gregos tenham lançado as bases para a ideia de “música das esferas”, foi somente nos séculos 16 e 17 d.C. que o conceito encontrou-se no auge de seu desenvolvimento. A concepção pitagórica a respeito da harmonia cósmica formaria a base de *Harmonice mundi* de Kepler, e a *Harmonia pré-estabelecida*<sup>293</sup> de Leibniz. Johannes Kepler<sup>294</sup> trouxe seus imensos talentos e discernimento

místico para o problema musical-celestial, começando em 1596 com a publicação de seu *Mysterium Cosmographicum* (Mistério do Cosmos, conhecido também como “O Segredo do Mundo”). Em seu livro, ele tentou expressar uma harmonia subjacente, tentando encaixar os cinco sólidos geométricos regulares<sup>295</sup> nos espaços entre as esferas dos vários planetas (Figura 208).

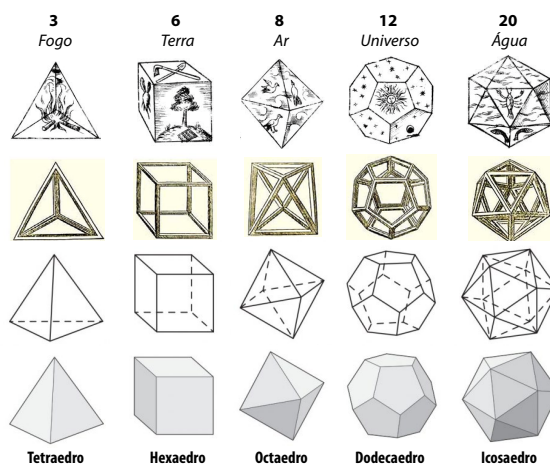


**Figura 208** – (A) Imagem original contida no *Mysterium Cosmographicum* (1596), representando a crença de Kepler de que a distância entre os planetas e o Sol teria um significado geométrico simples, baseado em sólidos platônicos; (B) Representando Saturno, a esfera externa circunscreve um cubo, o qual circunscreve a esfera de Júpiter. (C) No detalhe, continuando para dentro, estão o tetraedro (Marte), o dodecaedro (Terra), o icosaedro (Vênus) e o octaedro (Mercúrio). Fontes: (A) original digitalizado disponível em Kepler (1596a, p. 35), cuja imagem foi aprimorada por Kepler (1596b, 1596c).

<sup>293</sup> A teoria da *Harmonia pré-estabelecida* de Leibniz é uma explicação da interação entre a mente e corpo humano (MCDONOUGH, 2017).

<sup>294</sup> Johannes Kepler [1571–1630], matemático e astrônomo alemão que descobriu que a Terra e os planetas viajam ao redor do Sol em órbitas elípticas. Tendo sido figura-chave na revolução científica do século XVII, Kepler é reconhecido pelas leis do movimento planetário, uma das quais forneceu fundamentos da teoria da gravitação universal de Newton.

<sup>295</sup> Acreditando ter encontrado a “chave do universo”, Kepler comparou as razões das esferas inscritas e circunscritas nos cinco sólidos platônicos: o tetraedro, o hexaedro (cubo), o octaedro, o dodecaedro (limitado por 12 pentágonos) e o icosaedro (com 20 faces triangulares equiláteras) com as razões das órbitas dos seis planetas então conhecidos (contando com a Terra mas excluindo a Lua). A cada sólido, Platão associou a cada um dos quatro elementos básicos (fogo, terra, ar e água).



**Figura (A) da nota de rodapé n. 295**– Sólidos platônicos. Na primeira linha, estão os desenhos iconográficos que constam em *Mysterium Cosmographicum* (1596) de Kepler: tetraedro (fogo, 3 faces); hexaedro (terra, 6 faces); octaedro (ar, 8 faces); dodecaedro (universo, 12 faces); e icosaedro (água, 20 faces). Fonte: elaborado com base em Heninger (1974, p.108).

Expandindo os conceitos introduzidos no *Mysterium Cosmographicum*, Kepler conseguiu transformar a harmonia geométrica em algo verdadeiramente musical somente 23 anos depois, em seu *Harmonice Mundi* (Harmonia do Mundo), publicado em 1619. Ao postular que intervalos e harmonias musicais descrevem os movimentos dos seis planetas conhecidos da época, finalmente ele consagrou suas pesquisas astronômicas em seu próprio conceito de harmonia divina. Baseando seus cálculos nas observações altamente precisas de Tycho Brahe<sup>296</sup>, Kepler conseguiu

derivar suas leis do movimento planetário, uma das quais mostrou que a velocidade orbital de cada planeta variava, sendo mais rápida quando mais próxima do Sol (periélio) e mais lenta quando mais distante (afélio)<sup>297</sup>. Tomando essas velocidades extremas, ele derivou uma relação entre elas e as proporções dos comprimentos das cordas vibrantes. Ele então elaborou as notas equivalentes da escala musical, terminando assim com séries de notas que simbolizavam o comportamento real de cada planeta<sup>298</sup> (Figura X) (RONAN, 1975).



**Figura 209** – Kepler derivou essas escalas musicais para os planetas a partir de variações em seus movimentos angulares ao redor do Sol. Da mesma forma, uma escala para a Lua é mostrada no canto inferior direito. Notações antigas de clave são usadas: o tom mais alto é de Mercúrio, e o tom mais baixo é de Saturno. Observa-se que, até a descoberta de Urano em 1781, apenas seis planetas eram conhecidos (na ordem indicada na figura): Saturno, Júpiter, Marte, Terra, Vênus e Mercúrio. Fonte: obtido do original *Harmonice Mundi* (1619), cujo original digitalizado está disponível em Kepler (1619).

<sup>296</sup> Tycho Brahe [1546–1601], astrônomo e escritor dinamarquês conhecido por suas observações astronômicas precisas e abrangentes.

<sup>297</sup> Enquanto os filósofos antigos falavam metaforicamente da música das esferas, Kepler descobriu harmonias físicas no movimento planetário. Ele descobriu que a diferença entre as velocidades angulares máxima e mínima de um planeta em sua órbita se aproxima de uma proporção harmônica. Considerando os sete intervalos consonantes da oitava do seu tempo [1:1 – unísono; 2:1 – oitava; 3:2 – quinta; 4:3 – quarta; 5:4 – terceira maior; 6:5 – terceira menor; 5:3 – sexta maior; e 8:5 – sexta menor], Kepler estabeleceu as seguintes harmonias dos seis planetas conhecidos calculando as razões afélio/periélio de cada um delas: Saturno 5:4 (terceira maior); Júpiter 6:5 (terceira menor); Marte 3:2 (quinta); Terra 16:15 (semitom); Vênus 25:24 (sustenido); Mercúrio 12:5 (uma oitava e uma terça menor) (RODRIGUES, 1999). Por exemplo, Por exemplo, quando observado do Sol, Saturno percorre um arco de 106 segundos por dia no afélio ou de 135 s/dia quando está no periélio, obtendo-se  $106/135 \approx 4/5$ . A velocidade angular máxima da Terra, medida a partir do Sol, varia em um semitom (proporção de 16:15, de *mi* a *fa*) entre o afélio e o periélio. Vênus varia apenas entre um pequeno intervalo de 25:24 (chamado *dese* ou *sustenido* em termos musicais). Assim, nessa linha de raciocínio, o coro celeste formado por Kepler era composto por: um *tenor* (Marte), dois *baixos* (Saturno e Júpiter), uma *soprano* (Mercúrio) e dois *altos* (Vênus e Terra). Mercúrio, com sua grande órbita elíptica (maior excentricidade), estava determinado a produzir o maior número de notas, enquanto Vênus era capaz de apenas uma única nota, porque sua órbita é quase um círculo. O temperamento místico e especulativo de Kepler o ousar afirmar que “a Terra canta as notas MI, FA, MI, de modo que delas se possa conjecturar que no nosso seio prevalecem a miséria (Miseria) e a fome (FAMES)” (RODRIGUES, 1999; VALENTINUZZI, 2018).

<sup>298</sup> Finalmente, em 2016, pode-se admitir que o homem conseguiu, de fato, “escutar a música universal”, consagrando o que Pitágoras e Kepler brilhantemente ousaram propor no passado. “Podemos ouvir ondas de gravitação. Podemos ouvir o universo!” – esta foi a proclamação triunfante da porta-voz do Observatório de Ondas Gravitacionais por Interferômetro Laser (LIGO, sigla do Inglês para Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory), em uma conferência de imprensa em fevereiro de 2016, anunciando que o LIGO havia detectado um “sinal transitório de onda gravitacional”. O que o LIGO ouviu foi o “som” das forças cósmicas impressionantes difundido através de um meio cósmico de incrível expansividade. A teoria geral da relatividade de Einstein previu que quando corpos estelares massivos explodem ou colidem, o próprio tecido do espaço-tempo registraria as reverberações das forças desencadeadas, e vibrações ondulantes do espaço-tempo (ondas gravitacionais) se propagariam através do tecido do universo como se fossem ondulações na superfície de uma lagoa. Assim, o sinal detectado pelo LIGO, resultante da onda transitória de dois buracos negros colidindo há mais de um bilhão de anos atrás, era uma confirmação perceptível das equações de Einstein (HICKS, 2017). Ressalta-se que a atual capacidade humana de ouvir o cosmos se baseia na transdução de um sinal extrassônico - um sinal que sempre excede ou ultrapassa as limitações físicas e corporais do ouvido - em uma representação sônica acomodada às realidades sensoriais humanas. Assim, é possível de algum modo “ouvir” ondas gravitacionais desde que o sinal transmitido pelo meio de gravidade seja transduzido para um sinal sonoro que os ouvidos podem registrar. Em outras palavras, Hicks (2017) descontrai ao afirmar que “somente Pitágoras podia ouvir a música das esferas; e como Isaac Newton teria afirmado: ‘Eu pensei que a música das esferas de Pitágoras se destinava a tipificar a gravidade e, assim como os sons e as notas dependem do tamanho das cordas, a gravidade também depende da densidade da matéria’”.

Tal como a escola pitagórica do pensamento grego antigo, Kepler tinha uma convicção profunda de que existia uma conexão entre as regularidades matemáticas dos movimentos orbitais dos planetas e as regularidades que fornecem um senso de harmonia na música<sup>299</sup> (FRAKNOI, 2007). Assim, as harmonias musicais e orbitais subjacentes que ele encontrara parecia de imensa importância. Mas desde sua época, o clima do pensamento científico mudou, e nenhum astrônomo esperaria encontrar uma correspondência estrita entre a música e os cosmos<sup>300</sup>. Ainda persiste a característica humana básica de tentar descobrir um padrão oculto a partir das evidências observacionais, todavia, hoje exige-se uma expressão menos mística e mais mundana das descobertas<sup>301</sup> (RONAN, 1975). De qualquer forma, as antigas tentativas de compreensão do universo, em todos os seus aspectos, não desmereceram as brilhantes indagações que proporcionaram os acumulados avanços científicos.

De Pitágoras até os dias atuais<sup>302</sup>, atravessando dezenas de séculos, a concepção da “música das esferas”

<sup>299</sup> Por meio do seu estudo eloquente do sistema solar, Kepler trouxe um refinamento ao antigo sistema pitagórico, com dois mil anos de idade, sobre a música das esferas. Em sua *Harmonia do Mundo*, a “música celestial” de Kepler é uma metáfora para uma realidade matemática mais profunda. Kepler teve o cuidado de explicar que essa “música” é inaudível, consistindo, na verdade, em um conceito intelectual. Assim, ele insistiu que “Os movimentos dos céus não são mais que uma eterna polifonia, percebida pelo intelecto, não pelo ouvido” (CLARK; BLACK, 2015).

<sup>300</sup> Embora o *Mysterium Cosmographicum* tenha sido recebido calorosamente em 1596 e até tenha sido reimpresso em 1621, e apesar de Kepler ser amplamente reconhecido como um brilhante astrônomo e matemático, o *Harmonice Mundi* parece ter tido pouca influência sobre seus contemporâneos. Primeiro, ele foi entendido por muito poucos leitores, devido a sua complexa gama de especulações metafísicas, ao uso de ferramentas matemáticas e geométricas avançadas e, obviamente, à dependência dos últimos desenvolvimentos em astronomia. Segundo, o tratado foi escrito em um momento em que a especulação teórica estava sendo rapidamente substituído pela ciência experimental, defendida por Galileu, um correspondente ocasional de Kepler. Nesse contexto de mudança de paradigmas, embora a crença em um mundo criado por Deus tenha prevalecido no séc. 17, um número crescente de cientistas e filósofos duvidava que a estrutura do mundo devesse refletir arquétipos, sejam elas razões pitagóricas, sólidos platônicos ou relações harmônicas. Kepler acreditava claramente que sua teoria da harmonia celestial era definitiva, tentando explicar a estrutura do mundo em termos de conceitos, como harmonias universais e arquétipos geométricos. Tais conceitos, na concepção da Ciência Moderna atual, seriam definidos como uma “ciência oculta (ou *occultism*)”, com valor simbolicamente metafórico, místico e/ou poético. Algumas décadas depois, a teoria astronômica de Newton estava inteiramente baseada em na Matemática e na Física, enquanto a crescente Ciência da Acústica substituiu a antiga tradição da harmonia das esferas. Quanto ao significado físico das harmonias celestes de Kepler, embora suas observações ainda sejam consideradas válidas e bastante precisas pelos astrônomos de hoje, a validade de sua teoria cosmológica foi abalada pela descoberta de Urano, em 1781, e mais tarde de Netuno e Plutão (hoje rebaixado do status de planeta). Logo, as distâncias relativas a o Sol e os movimentos aparentes desses planetas não podem ser explicados pela teoria de Kepler. Até agora, a Ciência Moderna não foi capaz de fornecer uma explicação satisfatória para as razões harmônicas encontradas entre os seis “planetas antigos” e, em retrospecto, pode-se ficar tentado a dizer que Kepler construiu uma teoria monumental para explicar o que hoje parece ser apenas uma “coincidência intrigante” — Kepler, apesar de ter sido rigorosamente crítico em relação ao seu próprio trabalho, ficou tentado, por longos por vinte anos, várias soluções antes de encontrar uma que o satisfizesse) (GINGRAS, 2003).

<sup>301</sup> No final, a ideia original de Kepler sobre “música das esferas” foi abandonada, mas, de suas pesquisas, surgiram suas três leis da dinâmica orbital. A primeira delas, e a

possui reconhecidamente seus notórios méritos históricos, cujo aspecto marcante pode ser prestigiado, simbolicamente, como motivação poética e inspiradora de diversas gerações de entusiasmados gênios da Filosofia, Ciência e das Artes Musicais, Literárias e Arquitetônicas. De alguma maneira, a alegoria fortemente reforçada por Kepler deve ter contribuído, consideravelmente, no resgate do inato hábito do ser humano em admirar as estrelas, deslumbrando-se com a beleza e regularidade dos astros mergulhados na imensidão dos céus. Como reflexos desse clima motivado por curiosidades estimulantes de uma incessante racionalização da natureza, as satisfações das instigadoras descobertas despertaram aprazíveis emoções coletivas, repercutindo positivamente em movimentos artísticos que se sucederam. Nos tempos contemporâneos, a partir o séc. 19, marcado pelo movimento romântico, houve um retorno às origens da Grécia antiga, com a exacerbação do romantismo ressuscitando os antigos mitos do Sol e da Lua. Logo, as

mais importante, comprovou que as órbitas dos planetas são elipses e não círculos, mudando o curso da Física e da Astronomia. Cabe destacar que Kepler, por ter vivido em uma época em que não havia uma distinção clara entre Astronomia e Astrologia, acreditava que o movimento dos planetas ainda era uma música imanente da perfeição divina, segundo a tradição da cosmologia mítica do *Timeu* de Platão. Nos seus dias, a verdadeira ciência estava misturada com religião, misticismo e filosofia, incluindo conceitos e crenças infundadas. Logo, Kepler também incorporou argumentos e raciocínios religiosos em seu trabalho, motivados pela convicção e crença religiosa de que Deus havia criado o mundo de acordo com um plano inteligível, que seria acessível através da luz natural da razão. Em seu contexto histórico, Kepler descrevia sua nova Astronomia como “física celestial”, como “uma excursão à *Metafísica* de Aristóteles” e como “um complemento para *Do Céu* de Aristóteles” (MODINOS, 2013). De qualquer forma, a influência religiosa e mística não impediu Kepler de chegar às célebres e substanciais três leis do movimento celeste: os planetas giram em torno do Sol, em órbitas elípticas, tendo-o por um dos focos; as suas áreas orbitais são percorridas proporcionalmente ao tempo (o que implica aceleração no periélio e retardamento no afélio); e os quadrados dos períodos de revolução de cada planeta são proporcionais aos cubos das suas distâncias médias ao Sol. Em seu *Harmonices Mundi* (1619), Kepler considerou que a descoberta da última lei completava uma parte da sua obra *Mysterium Cosmographicum* (1596):

“Com efeito, após ter encontrado os verdadeiros intervalos das Orbes, graças às observações de Brahe, depois de um longo período de trabalho contínuo, a autêntica proporção dos Tempos periódicos em relação com a proporção das Orbes... tardiamente, em verdade, tornou-se evidente para mim [...]; a concordância era tão grande entre o meu trabalho de dezessete anos sobre as Observações Brahenianas e esta meditação, a convergência era tão perfeita, que acreditei inicialmente sonhar e pressentir o que procurava de princípio. Mas a coisa é tão certa e tão exata: a razão que existe entre os tempos de revolução de dois planetas quaisquer está em proporção precisamente sesquiáltera com a razão das suas distâncias médias, isto é das suas Orbes”, o que significa em notação de hoje que o período/ano do planeta ( $T$ ) é proporcional a sua distância ( $d$ ) em relação ao Sol, conforme a relação dada por:  $T \sim d^{3/2}$  (RODRIGUES, 1999).

<sup>302</sup> Proust (2011) apresenta um extenso e detalhado histórico sobre a harmonia das esferas, ao longo dos últimos 25 séculos.

noites de céus iluminados, imiscuídos ao sentimento e paixão romântica, gerou um ambiente envolvente, agradável e propenso à estimulação artística musical, resgatando os objetos celestes como uma fonte de especial inspiração para diversas áreas<sup>303</sup> da cultura e da arte em geral, encantando poetas, artistas plásticos, arquitetos e compositores da música erudita moderna<sup>304</sup>.

O termo *harmônico*, como múltiplo inteiro de uma frequência fundamental, foi usado pela primeira vez por Sauveur [1653-1716] em 1701. Por consequência, na concepção original no âmbito da música, *análise harmônica* é o estudo dos acordes individuais ou harmônicos em uma peça musical, junto com seu uso em sucessão para formar unidades maiores de frases, períodos, seções ou composições inteiras. Nesse contexto, as primeiras análises a serem consideradas são as de Jean-Philippe Rameau (1683-1764), uma vez que suas teorias são geralmente consideradas como a fonte do conceito moderno de harmonia (BEACH, 1974).

Considerado um dos mais importantes compositores franceses e teóricos da música do séc. 18, Rameau foi influenciado por modos cartesianos de pensamento e análise, cuja metodologia incorporou uma análise matemática cientificamente esclarecedora da estrutura e os princípios da música. Adepto de um racionalismo filosófico, sua reputação rapidamente ascendeu na França como o “Isaac Newton da Música”. Além da obra que iniciou sua fama, *Traité de l'harmonie* (Tratado sobre a harmonia), de 1722, também publicou obras fundamentais como *Génération harmonique* (Geração harmônica), em 1737, e *Démonstration du principe de l'harmonie* (Demonstração do princípio da harmonia), em 1750. Esta última obra, aprovada pela Academia de Ciências da França, foi incentivada e revisada por Jean le Rond D'Alembert [1717 – 1783], matemático, físico e filósofo francês, e também considerado um teórico da música.

Estudando a vibração das cordas, D'Alembert conseguiu mostrar que o movimento de uma corda vibrante em um instrumento musical é representado por uma equação diferencial parcial. Ao indicar a solução geral dessa equação de cordas vibrantes, foi estabelecido o primeiro exemplo da equação de onda, tornando D'Alembert um dos fundadores da física matemática. Assim, com o seu tratado de 1747 sobre as oscilações das cordas de violino, D'Alembert deu início à história moderna da *série de Fourier* (GONZÁLEZ, 1997).

#### E.2.4. Pré-Fourier: o problema da corda vibrante<sup>305</sup>

Analisar o séc. 18 abrange muitos problemas na Matemática. O problema do movimento da corda vibrante não é um deles, pois pertence ao domínio da Física matemática. Mas a discussão vigorosa e até apaixonada que foi dada à sua solução durante a segunda metade do século teve um profundo efeito na análise que foi usada. Sem fornecer um relato detalhado da discussão em si, mas mostrar como ela influenciou no desenvolvimento dos fundamentos da análise em seu tempo, inicia-se pelo problema: uma corda elástica uniforme é esticada e tensionada entre dois pontos fixos (*A*) e (*B*), estes afastados um do outro pela distância (*L*), e a corda é colocada em uma pequena vibração horizontal. Impõe-se ao sistema um sistema de eixo cartesiano com: *AB* como o eixo *x*; e, como eixo *y*, uma linha horizontal perpendicular a *AB*, atravessando pelo ponto *A*. Assim, primeiro, tenta-se encontrar uma equação para representar o movimento em termos de *y* como uma função de *x* e do tempo *t* [ou seja,  $y = u(x,t)$ ], e depois resolvê-la para encontrar uma expressão explícita para  $u(x,t)$ . O problema é elegante: na verdade, é um dos problemas mais notáveis da história da Física matemática.

Historicamente, o problema de uma corda vibrante, como a de um instrumento musical, foi estudado por Jean le Rond d'Alembert, Leonhard Euler, Daniel Bernoulli e Joseph-Louis Lagrange. Em 1747, D'Alembert descobriu a equação de onda unidimensional e, dez anos depois, Euler descobriu a equação de onda tridimensional.

D'Alembert publicou em 1747 a seguinte equação diferencial parcial, conhecida como a “equação da onda” (onde  $c$  é um coeficiente real não negativo fixo, que depende da corda):

$$\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = \frac{1}{c^2} \cdot \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} \quad (19)$$

A generalidade das tentativas de soluções concorrentes oferecidas para tal equação conduziu a uma longa controvérsia capaz de trazer à tona: a teoria das funções, o papel da álgebra, o contínuo da linha real e a convergência das séries, bem como a interpretação física das soluções como movimento de corda. Então o caso foi de grande

<sup>303</sup> O livro de Gaugier (2007), profusamente ilustrado, examina os conceitos unificados de harmonia, proporção, forma e ordem que foram atribuídos a Pitágoras no milênio após sua morte. Abrangendo os tempos antigos e medievais, dos templos gregos e romanos às catedrais góticas, apresenta detalhadamente como os conceitos pitagóricos afetaram importantes desenvolvimentos na arte, arquitetura, matemática, astronomia, música, medicina, moral, religião, direito, alquimia e “ciências ocultas/místicas”.

<sup>304</sup> Os trabalhos de Fraknoi (2007, 2016) lista diversas músicas inspiradas na Astronomia.

<sup>305</sup> Baseado em Grattan-Guinness (1970), Oppenheim e Willsky (2010), bem como em Flood e Robin (2013).

importância, motivo pelo qual recebe muita atenção dos historiadores da Matemática.

Começando pelas técnicas matemáticas, atribui-se a Leonhard Euler<sup>306</sup> (1707-1783) a popularização do uso da diferenciação parcial, quando em 1734, ele obteve resultados que marcaram o início da teoria de solução de equações diferenciais. Integrar equações diferenciais parciais foi o novo passo em frente para a física matemática. Euler foi o principal pupilo de John Bernoulli (1667-1748), este que havia sido influenciado pela linha prioritária de Newton-Leibniz sobre a invenção do Cálculo e passou a dedicar suas energias e de sua escola para tentar demonstrar a superioridade do sistema leibniziano, especialmente na descrição do movimento do meio contínuo de acordo com a lei de gravitação universal de Newton. Esse era o período pós-newtoniano da “mecânica racional”: a investigação da mecânica de hastes, vigas, fibras, membranas (como a de um tambor), fluidos e muitos outros materiais – incluindo a corda vibrante. O trabalho de Euler em diferenciação parcial enriqueceu o aparelhamento matemático necessário para esses problemas, pois, uma vez que estes usualmente envolviam pelo menos uma variável espacial mais a variável temporal – parciais, invés de ordinárias –, assim, tornaram-se necessárias as equações diferenciais.

D'Alembert, entre outros matemáticos, encontrou tais equações para vários problemas físicos. Mas, de todas essas equações, a equação da onda (19) foi a única que ele conseguiu resolver. Por meio de uma longa versão do raciocínio, agora familiar, ele encontrou a solução funcional:

$$y = u(x, t) = F(x + ct) + G(x - ct) \quad (20)$$

Onde  $F$  e  $G$  são funções arbitrárias. A solução dessa equação pode ser complicada, mas pode ser analisada como uma combinação linear de soluções simples que são ondas planas sinusoidais com várias direções de propagação e comprimentos de onda, mas todas com a mesma velocidade de propagação  $c$ .

Sob determinadas condições iniciais, deve-se dar crédito a d'Alembert por uma análise brilhante do problema: o primeiro avanço genuíno fornece uma solução que havia sido sugerida trinta anos antes por Brook Taylor para uma situação de movimento constante:

$$y = u(x, t) = k \sin \frac{\pi x}{L} \quad (21)$$

Como teria comentado D'Alembert: “Essa equação contém uma infinidade de curvas”. A repercussão geral de tais curvas da solução provocou uma das questões matemáticas mais estimulantes.

Em 1748, L. Euler, também examinava o movimento da corda vibrante. Euler observou que, se a configuração de uma corda vibrante em algum ponto no tempo for uma combinação linear desses modos normais, o mesmo acontece com a configuração em qualquer tempo subsequente. Assim, Euler mostrou que, a partir dos coeficientes em um tempo anterior, é possível calcular diretamente os coeficientes da combinação linear em tempos posteriores. Ao fazer isso, Euler derivou uma das propriedades das somas trigonométricas que as tornam tão úteis na análise periódica. Tal propriedade não seria particularmente útil a menos que fosse verdade que uma grande classe de funções importantes pudesse ser representada por combinações lineares de exponenciais complexas.

Prosseguindo no esforço de avançar mais, D'Alembert tentou, em 1752, encontrar soluções para a forma: *função de tempo*  $\times$  *função da distância*, ou, em outras palavras:

$$y = u(x, t) = F(t) \times G(x) \quad (22)$$

onde  $F$  depende de  $t$ , e  $G$  depende de  $x$ . Tal forma converte a equação da onda em duas variáveis independentes e em duas equações diferenciais, cada uma com uma variável. Assim, ficando mais fácil de resolver, ele deduziu a solução:

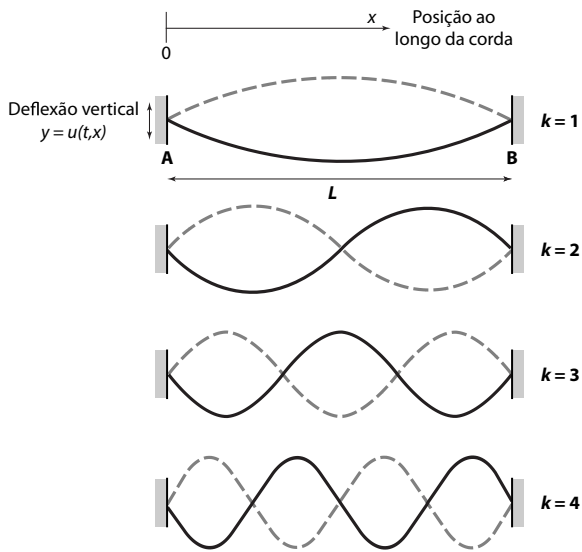
$$y = u(x, t) = \cos(k\pi c / L)t \times \sin(v\pi / L)x \quad (23)$$

onde  $L$  é o comprimento da corda, e  $k$  pode ser qualquer número inteiro positivo. Valores distintos de  $k$  fornecem diferentes modos de vibração com diferentes frequências (**Figura 210**). Foi Daniel Bernoulli quem sugeriu que a corda vibrante poderia exibir infinitos modos de vibração, todos superpostos com cada um. A solução é então a soma infinita dada por:

$$\begin{aligned} u(x, t) = & \alpha \cos(1\pi c / L)t \cdot \sin(1\pi / L)x \\ & + \beta \cos(2\pi c / L)t \cdot \sin(2\pi / L)x \\ & + \gamma \cos(3\pi c / L)t \cdot \sin(3\pi / L)x + \dots \end{aligned} \quad (24)$$

<sup>306</sup> Atribui-se a Euler a concepção do conceito de uma função, que a usou com sucesso em geometria, mesmo sem se preocupar em defini-la corretamente. Mais tarde, suas ideias se mostraram altamente proveitosas nos estudos das séries de Fourier e, curiosamente, a definição precisa de uma função, como a aceita agora

universalmente, veio primeiro de Gustav Lejeune Dirichlet em 1837, enquanto estudava certos problemas na convergência das séries de Fourier (GRATTAN-GUINNESS, 1970)



**Figura 210** – Quatro modos de vibração de uma corda ( $k = 1, 2, 3$  e  $4$ ). Portanto, para qualquer instante fixo do tempo, os modos normais são funções senoidais de  $x$  harmonicamente relacionadas. Fonte: modificado de Oppenheim e Willsky (2010).

Em meados do séc. 18, esse ponto foi assunto de intenso debate. Em 1753, D. Bernoulli demonstrou que todos os movimentos físicos de uma corda poderiam ser representados por combinações lineares de modos normais, todavia, sem conseguir provar isso matematicamente, suas ideias não foram amplamente aceitas. Na verdade, o próprio Euler descartou as séries trigonométricas e, em 1759, J. L. Lagrange criticou fortemente o uso das séries trigonométricas no estudo de cordas vibrantes, na convicção de que era impossível representar sinais com quebras (ou seja, com descontinuidades) usando séries trigonométricas. Como essas configurações surgem do pinçar/esticar uma

corda (ou seja, puxá-la e depois soltá-la), Lagrange argumentou que as séries trigonométricas tinham uso muito limitado.

Em 1759, Lagrange chegou próximo da dedução das séries senoidais de Fourier, mas este fez sua descoberta somente quase meio século depois. Foram várias as causas da falha de Lagrange em identificar as séries de Fourier, cada uma delas indicando uma razão diferente pela qual ele não estava procurando por ela. Apesar de poucas conquistas, outras questões foram pouco abordadas e, assim, quando os coeficientes de Fourier para as séries trigonométricas surgiram durante o século seguinte, eles nunca tiveram qualquer impacto real no problema da corda vibratória. Um progresso significativo não estava por vir até que outra equação diferencial parcial linear fosse estudada em profundidade – a equação de Fourier para difusão de calor:

$$K \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} = \frac{\partial v}{\partial t} \quad (25)$$

onde  $v$  é a temperatura em qualquer momento  $t$  em um ponto  $x$  do plano, e  $K$  é uma constante de proporcionalidade chamada *difusividade térmica do material*. A equação é semelhante à equação de onda (19), pois sua forma e linearidade permitem a possibilidade de solução por séries trigonométricas. Mas desta vez eles foram tratados com grande entusiasmo e, quando Fourier colocou as condições iniciais dentro deles, obteve o tipo de equação para a qual Lagrange não estava olhando.

### E.2.5. Fourier: vida e obra<sup>307</sup>

Foi nesse ambiente um tanto hostil e cético que Jean Baptiste Joseph Fourier<sup>308</sup> [1768-1830], apresentou suas

<sup>307</sup> Baseado em Grattan-Guinness (1969, 1970).

<sup>308</sup> Nascido em Auxerre, França, filho de alfaiate, foi um dos últimos de seus dezoito irmãos. Aos 8 anos de idade, Fourier ficou órfão e foi selecionado para frequentar a escola militar da cidade dirigida por monges beneditinos. Ele mostrou um forte comprometimento inicial em Matemática e, depois de abandonar o noviciado, retornou à sua antiga escola em Auxerre para ensinar Matemática, História, Filosofia e Retórica. Durante esse período, as fortes críticas de Fourier à corrupção do governo levaram a demandas oficiais por sua execução. Mas após um breve período de prisão, e com a execução pública de Robespierre em julho de 1794, Fourier recebeu anistia. Após a sua libertação, ele frequentou a recém-criada *École Normal* em Paris – uma escola de curta duração onde os matemáticos Simon Laplace, Joseph Lagrange e Gaspard Monge eram seus professores – antes de pedir transferência para a *École Polytechnique*, uma academia militar de elite. Devido a sua reputação como professor talentoso, Fourier foi prestigiado com um cargo de professor assistente. Ele dedicou seu tempo de lazer a problemas pendentes na Matemática, incluindo uma prova da regra de sinais de Descartes. Mas isso não duraria. Como um administrador capaz e defensor da Revolução Francesa, Fourier foi logo convidado a servir como um dos consultores científicos de Napoleão em sua expedição ao Egito em 1798. Ele foi nomeado secretário do *Institut d'Égypte* que foi estabelecido por Napoleão

no Cairo, onde desempenhou deveres científicos e administrativos. O artigo de Fourier de 1807 também introduziu uma controversa técnica matemática – agora conhecida como série de Fourier – que lhe permitiu expressar a distribuição de temperatura dentro de um corpo sólido como uma soma ponderada de funções trigonométricas (como senos e cossenos) com diferentes frequências espaciais de oscilação. Hoje, esse método de análise sustenta grande parte da engenharia elétrica, processamento de imagens e espectroscopia (para citar apenas alguns). Assim, ficou amplamente reconhecido matemático francês, tendo exercido forte influência na Física matemática. Também ficou conhecido como egiptólogo e administrador (KUEHN, 2016). Famoso por sua influência em muitas áreas da física matemática e por suas fórmulas sobre a condução de calor em materiais sólidos, outras atividades de pesquisa de Fourier incluíam investigações de termômetros, aquecimento em casas, estimativa da idade da Terra, várias abordagens para distinguir entre raízes reais e imaginárias de equações e estimativa de erros de medições. Embora Fourier tenha se tornado um especialista em transferência de calor, curiosamente ele nunca foi bom em regular seu próprio calor. Desde seu retorno do calor do Egito, o termostato corporal de Fourier nunca parecia se reajustar, porque ele estava sempre com frio. A sensação de frio era tanta que, mesmo no verão, ele usava vários

ideias meio século mais tarde. Fourier entrou na polêmica sobre as séries trigonométricas quando já existia uma vasta experiência científica. Suas muitas contribuições – particularmente aquelas referentes à série e à transformada que levam seu nome – se tornam ainda mais impressionantes pelas circunstâncias sob as quais ele atuava. Suas descobertas foram revolucionárias, embora não completamente apreciadas durante seu tempo de vida, tendo grande impacto no desenvolvimento da matemática, além de representar grande importância em um vastíssimo leque de disciplinas das Ciências e das Engenharias.

Além de seus estudos em matemática, Fourier teve uma vida política ativa. Os ideais da Revolução Francesa o conduziram à política e suas atividades quase o conduziram a sua derrocada, inclusive colocando sua vida em perigo por ter passado perto da guilhotina em duas ocasiões. Depois disso, Fourier se aliou a Napoleão Bonaparte e estabeleceram uma relação bastante próxima. Inclusive, Fourier acompanhou Napoleão em suas expedições ao Egito de 1798-1801, onde então coletou informações que foram usadas no tratado *Description de l'Égypte*, no qual ele também escreveu um longo prefácio histórico sobre a antiga civilização egípcia. Em 1802, Fourier foi indicado por Bonaparte para ser Prefeito de uma região da França centralizada em Grenoble. Lá, enquanto trabalhava como administrador público com reconhecida habilidade, Fourier conseguiu pesquisar cientificamente em seu tempo livre, desenvolveu suas ideias sobre séries trigonométricas e apresentou à academia algumas de suas descobertas.

A motivação física para o trabalho de Fourier foi o fenômeno da propagação e difusão do calor. Este, por si só, foi um passo significativo, porque a maior parte da pesquisa anterior em física e matemática lidava com a mecânica racional e celeste. Por volta de 1807, Fourier tinha completado uma obra, na qual observou que séries senoidais

harmonicamente relacionadas eram úteis na representação da distribuição de temperatura em um corpo. Além disso, ele afirmou que ‘qualquer’ sinal periódico poderia ser representado por tal série. Embora a abordagem do assunto fosse significativa, muitas das ideias básicas por trás dele já eram conhecidas. Além do mais, os argumentos matemáticos de Fourier ainda eram imprecisos, e foi P. L. Dirichlet, em 1829, que forneceu condições precisas sob as quais um sinal periódico poderia ser representado por uma série de Fourier. Assim, Fourier não contribuiu efetivamente para a teoria matemática da série que leva o seu nome. Porém, ele teve a clara percepção do potencial para essa representação em série. Até certo ponto foi o seu trabalho e suas afirmações que estimularam grande parte do trabalho subsequente sobre a série de Fourier. Além disso, Fourier levou esse tipo de representação um grande passo além de qualquer um de seus predecessores: ele obteve uma representação para sinais aperiódicos, não como somas ponderadas de senóides harmonicamente relacionadas, mas como integrais ponderadas de senóides que não são todas harmonicamente relacionadas. Assim, Fourier conseguiu estabelecer a extensão da série de Fourier para a integral ou transformada de Fourier, que continua sendo uma das ferramentas mais poderosas na análise de séries periódicas.

Enfim, Fourier enviou sua obra<sup>309</sup> para a seção matemática e física do *Institut de France*, em Paris, onde quatro matemáticos e cientistas de destaque foram indicados para examinar o trabalho. Três dos quatro – S.F. Lacroix, G. Monge e P.S. de Laplace – foram a favor da publicação do artigo, mas o quarto, J.L. Lagrange, permaneceu firme em rejeitar as séries trigonométricas, como havia feito 50 anos antes. Devido às objeções veementes de Lagrange, o artigo de Fourier nunca foi publicado. Não surpreendentemente, os examinadores encontraram vários pontos de preocupação. As equações para representar a propagação do

sobretudo grandes. Alguns sugeriram que ele foi vítima de mixedema (causada pela diminuição da atividade da tireóide), que diminui a taxa metabólica do corpo. Qualquer que fosse a aflição de Fourier, ele raramente saía sem um sobretudo e um criado trazendo outro de reserva, mesmo em pleno verão. Eventualmente, ele se confinou em seus próprios aposentos aquecidos até sua morte por ataque cardíaco em 1830. Um pouco antes de morrer, ele escreveu a um amigo sobre já ter visto “a outra margem onde se é curado da vida”. Durante seus últimos anos, Fourier muitas vezes viveu em uma caixa para sustentar seu corpo envelhecido (PICKOVER, 2008). De acordo com Christianson (1999):

[Fourier], o talentoso pensador que deu origem à idéia do aquecimento global se viu de volta dentro de uma caixa de madeira, um dispositivo que ele usava porque estava tão enfraquecido pelo reumatismo crônico que curvar-se seria arriscar um ataque fatal de falta de ar. O recipiente humano tinha sido construído de acordo com suas próprias instruções. Mantinha seu corpo ereto, deixando apenas a cabeça e os braços para fora, permitindo-lhe trabalhar em suas tarefas científicas até o fim, mesmo enquanto se dedicava obstinadamente à volumosa correspondência exigida do secretário permanente da *Académie des Sciences*.

Os visitantes de seu apartamento em Paris, em frente aos Jardins de Luxemburgo, notaram outra coisa. Seu anfitrião mantinha a temperatura extremamente alta em seu lar, que na verdade parecia quase um clima tropical. Lembrava o Egito, um lugar que Fourier conhecia muito bem [tradução nossa].

Fourier deve ter morrido um homem triste, nunca tendo conquistado distinção em sua vida entre seus pares em matemática. No entanto, a posição de Fourier na história da matemática foi gradualmente reconhecida. Hoje, a série de Fourier é desenvolvida em análise moderna junto com o rápido crescimento da computação automática. A integral de Fourier e a transformada de Fourier, derivadas diretamente da série de Fourier, estão envolvidas em todos os campos técnicos, como engenharia, física, química, biologia e medicina. Fourier se consagrou pelo seu domínio soberbo da técnica analítica, e esse poder, guiado pela intuição física, trouxe-lhe um reconhecido e duradouro sucesso. Em homenagem póstuma, uma cratera lunar com um diâmetro de 51 quilômetros recebeu o nome de Fourier e foi aprovada em 1935 pela Assembleia Geral da União Astronômica Internacional. Seu nome é um dos 72 nomes de proeminentes cientistas franceses que Gustave Eiffel colocou na Torre Eiffel (PICKOVER, 2008).

<sup>309</sup> O estudo era grande, quase um livro, com 234 páginas de texto, com muitas equações complicadas, vários diagramas de estranhas funções matemáticas e, na última parte, algumas tabelas de resultados experimentais. O tópico era novo e ambicioso, pois a investigação teórica da propagação do calor pretendia levar a análise matemática dos fenômenos físicos para fora dos termos de referência da lei de gravitação universal de Newton. Pouco havia sido alcançado sobre esse problema. Agora Fourier, um homem de quarenta anos que publicara apenas um artigo em sua vida, estava apresentando suas próprias ideias sobre o assunto (GRATTAN-GUINNESS, 1969).

calor, em primeiro lugar, estavam longe de ser bem estabelecidas e, portanto, as versões apresentadas precisavam de um exame minucioso.

Diante do problema expressado na equação (25) – que consistia em encontrar a temperatura  $v$  em uma placa de metal condutora, se no tempo  $t = 0$ , a temperatura é dada no limite e nos pontos do plano –, Fourier introduziu séries com senos e cossenos como termos e apresentou como solução em uma dimensão:

$$1 = a \cos y + b \cos 3y + c \cos 5y + \dots \quad (26)$$

A equação (26) já era um tipo de equação especialmente familiar a Lagrange, pois muitos anos antes ele havia encontrado a sugestão de Bernoulli como o termo  $x$  da solução para a equação (24), que representava o movimento da corda vibrante, e ele havia mostrado que, na verdade, era menos geral do que a forma defendida por Euler e d'Alembert, dada pela equação (22).

Nas centenas de páginas de seu trabalho, Fourier detalhadamente discorreu sobre propriedades das séries de senos e cossenos, apresentou diagramas com ilustrações gráficas dessas séries periódicas sobre todo eixo real; havia até mesmo teoremas gerais que afirmavam que qualquer função  $f(x)$  poderia ser representada por séries desse tipo. Por fim, brevemente relatou experimentos com alguns corpos, que pareciam concordar muito bem com a previsão teórica. Então havia muito para os examinadores ponderarem. Todavia, o principal ponto de discórdia foi a dúvida de Lagrange sobre o uso de todas essas séries trigonométricas na formação de soluções genéricas para as equações diferenciais parciais.

Finalmente, após alguma coerção, os examinadores propuseram um problema cuja solução seria agraciada com uma premiação: “Apresentar a teoria matemática do calor e comparar o resultado dessa teoria com os experimentos exatos”. Então Fourier revisou o artigo antigo, reordenou parte de seu material e suprimiu muitos de seus diagramas,

mas preservando todos os principais resultados e acrescentando algumas novas seções. Fourier conseguiu enviar seu trabalho revisado para Paris em tempo, mas os avaliadores mais importantes ainda eram Laplace e Lagrange. O primeiro parecia ter ficado bastante satisfeito, inclusive ele já havia feito uma referência encorajadora ao artigo original em 1809. Mas Lagrange, ainda hostil, expressou reservas que ficaram registradas no relatório dos examinadores. Ainda assim, Fourier ganhou o prêmio – mas com críticas, das quais ele sempre se ressentia. E ainda parecia não haver perspectiva de publicar o artigo nas revistas do Instituto.

Lagrange faleceu em 1813, quando Fourier já estava se dedicando na terceira versão do trabalho, desta vez na forma de um livro que publicaria separadamente. Isso estava quase concluído em 1814, quando a maior surpresa de sua vida ocorreu: a queda e o exílio de Napoleão, com quem havia estabelecido relação de mútua e elevada estima – o que ficou evidenciado em 1809, quando Fourier recebeu o título de Barão por Bonaparte. Após alguns anos ainda exercendo o cargo de Prefeito, em meio à instabilidade política à época, Fourier foi a Paris para tentar seguir a vida intelectual que ele sempre quis, e para obter o seu artigo e livro publicados.

Após o retorno do exílio e o “Governo dos Cem dias”, com a queda definitiva de Napoleão do poder em 1815, Fourier foi nomeado diretor do Departamento de Estatística de Sena, permitindo-lhe um período de vida acadêmica tranquila em Paris. Com a restauração da monarquia, a antiga *Académie des Sciences* foi reinstituída, e Fourier foi eleito na segunda tentativa em 1817. Finalmente, depois de tantas tentativas de ter seu trabalho aceito e publicado pelo *Institut de France*, Fourier iniciou a escrita de outra versão do seu trabalho, *Theorie analytique de la chaleur*, livro que foi publicado somente em 1822, quando ele também foi eleito como *secrétaire perpétuo* da Academia de Ciências da França. Por causa de seu trabalho em egiptologia, ele foi eleito em 1826 para a Academia Francesa e a Academia de Medicina. De meados ao fim da década de 1820, Fourier publicou trabalhos sobre como o calor mantém a Terra aquecida, motivo pelo qual é mencionado como o primeiro a conjecturar sobre o “efeito estufa”, embora ele nunca tenha usado especificamente tal termo<sup>310</sup>.

<sup>310</sup> Na década de 1820, Fourier foi um dos pioneiros da pesquisa sobre o aquecimento da Terra – não no contexto das mudanças climáticas causadas pelo aquecimento global antropogênico; na verdade, ele só queria entender porque a Terra era quente o suficiente para sustentar a vida. Para tanto, ele aplicou sua compreensão do fluxo de calor ao nosso planeta, cuja única fonte óbvia de calor era a radiação que era recebida pelo Sol. Assim, o planeta irradia parte desse calor de volta ao espaço, e a diferença deveria explicar a temperatura média observada na superfície. Mas isso não aconteceu. Segundo seus cálculos, a Terra deveria estar visivelmente mais fria do que realmente é. Fourier deduziu que outros fatores deveriam estar envolvidos e publicou artigos em 1824 e 1827, investigando o que eles poderiam ser. Eventualmente, ele decidiu que a radiação extra do espaço interestelar era a explicação mais provável, que acabou sendo irremediavelmente errada. Mas ele também sugeriu (e descartou) a explicação correta: que a atmosfera pode agir como um tipo de cobertor, mantendo mais calor e permitindo que menos irradie. Sua inspiração foi um experimento realizado pelo geólogo e físico Horace-Bénédict de Saussure [1740-1799]. Investigando a possibilidade de usar os raios do Sol para cozinhar alimentos, Saussure

descobriu que uma caixa isolada com três camadas de vidro, amplamente separadas por camadas de ar, era a mais eficiente de seus projetos, e que poderia atingir 110 °C, ambos nas planícies quentes e altas nas montanhas frias. Portanto, o mecanismo de aquecimento dependia em grande parte do ar dentro da caixa e do efeito do vidro. Fourier imaginou que a atmosfera da Terra poderia agir da mesma maneira que o forno solar de Saussure. A frase “efeito estufa” pode derivar dessa sugestão, mas ela somente foi explicitamente usada pela primeira vez por Nils Ekholm. Em última análise, Fourier não estava convencido de que esse efeito fosse a resposta que procurava, em parte porque a caixa impede a convecção, que transporta calor por grandes distâncias pela atmosfera. Ele não considerou o papel do dióxido de carbono e de outros “gases do efeito estufa” (GEEs), que absorvem e emitem radiação infravermelha de uma maneira que retém mais calor. O mecanismo preciso é complicado, e a analogia com uma estufa é enganosa, porque uma estufa funciona confinando o ar quente em um espaço fechado (FLEMING, 1999; STEWART, 2017).



O artigo original de Fourier de 1807 parece ter sido mantido nos arquivos da Academia de Ciências durante sua vida. Mas, em algum momento indefinido, ele desapareceu e permaneceu assim até 1890, exatos 60 anos após a morte de seu autor, quando uma edição incompleta das obras de Fourier foi descoberta na biblioteca da *École Nationale des Ponts et Chaussées*, em Paris. O artigo original foi encontrado novamente em 1968, tendo sido publicado em 1972 (GRATTAN-GUINNESS; RAVETZ, 1972).

Fourier não registra quando ou como seu interesse pela propagação do calor começou, mas parece que ele começou a trabalhar nisso durante seus primeiros anos em Grenoble, e talvez até mesmo enquanto esteve no Egito. Seus primeiros esforços trataram da troca de calor entre corpos disjuntos, cada um ligado por alguns meios de comunicação a seus vizinhos imediatos. O calor perdido (ou ganho) dependia da capacidade do material dos corpos de conduzir calor, bem como de suas massas. Isso levou a uma queda correspondente (ou aumento) na temperatura e, portanto, a uma sequência de equações diferenciais ordinárias de primeira ordem, cada equação representando a situação aplicável a cada corpo sob a influência de seus vizinhos. A solução dessas equações exigiu apenas a substituição de uma forma exponencial para cada temperatura, resultando em uma sequência de equações diferenciais relacionando as temperaturas. Mas a manipulação dessas equações para produzir uma expressão analítica explícita para cada temperatura exigiu um alto nível de competência técnica. E Fourier correspondeu competentemente à tarefa.

### E.2.6. Pós-Fourier: do analógico ao digital<sup>311</sup>

Há duzentos anos atrás, Fourier começou a trabalhar na teoria do calor e como ele flui. Em seu livro *Théorie Analytique de la Chaleur* (A Teoria Analítica do Calor), de 1822, ele começou o desenvolvimento de um dos corpos mais influentes de ideias matemáticas, abrangendo a teoria de

---

Fourier não sabia como a atmosfera capturava a radiação infravermelha. Então, em 1838, o físico francês Claude Pouillet especulou que o vapor d'água e o dióxido de carbono poderiam explicar o fenômeno, mas não havia prova experimental de que esses gases absorviam calor. Em 1859, John Tyndall, professor de filosofia natural, decidiu testar se os gases na atmosfera poderiam conter o calor e desenvolveu uma configuração instrumental elaborada para medir a quantidade de calor radiante que os diferentes gases absorviam. Seu trabalho demonstrou que, embora o oxigênio, o nitrogênio e o hidrogênio fossem "transparentes" à radiação infravermelha, o vapor d'água, o CO<sub>2</sub> e o metano absorveram essa radiação. Logo, Tyndall percebeu que o vapor d'água era o principal gás do efeito estufa na atmosfera e era o grande responsável pelo efeito que Fourier havia calculado em 1824. Como alpinista, Tyndall havia desenvolvido um intenso interesse pelas geleiras, que ele e outros cientistas pensavam ser remanescentes das vastas camadas de gelo que cobriam grandes partes da Europa e da América do Norte durante a última era glacial global. Assim, Tyndall chegou a questionar se as flutuações no nível de GEEs poderiam ser responsáveis pelas grandes mudanças pretéritas no clima da Terra. Como Tyndall, Arrhenius também queria determinar se os GEEs explicariam a variação de temperatura entre períodos glaciais e interglaciais. Por meio desse raciocínio, Arrhenius usando princípios básicos da físico-química, foi o primeiro a calcular, em 1896, as estimativas da influência do aumento do CO<sub>2</sub> atmosférico no incremento da

Fourier e o campo agora conhecido como *análise harmônica* que cresceu a partir disso. Desde aquela época, o assunto tem sido excepcionalmente significativo, tanto em suas implicações teóricas quanto em sua enorme gama de aplicabilidade em matemática, ciência e engenharia.

As *séries de Fourier* – já usadas ocasionalmente, com reserva e desconfiança, por Euler e outros matemáticos do séc. 18 – receberam através de Fourier sua importante posição na matemática moderna. Ele também estendeu esse conceito para a assim chamada *integral de Fourier*. Dúvidas sobre a validade da série de Fourier levaram os matemáticos posteriores às soluções comprobatórias, permitindo também uma renovação fundamental do conceito de função real. Fourier revolucionou a compreensão da solução da equação de difusão para corpos finitos por séries trigonométricas, que foram conhecidas antes dele, mas com mal-entendidos importantes, especialmente sobre a maneira pela qual uma série periódica poderia representar uma função geral (STRUIK, 2021).

Fourier trabalhou na teoria quase toda a sua vida. Perto do final de sua vida, recebeu algum reconhecimento merecido, mas o tributo mais significativo foi o enorme impacto de seu trabalho em muitas áreas da Matemática, Ciências e Engenharias. Além dos estudos originais de vibração e difusão de calor, existem inúmeros outros problemas nessas áreas, em que os sinais senoidais e, portanto, a série e a transformada de Fourier desempenham um papel importante. Por exemplo, os sinais senoidais surgem naturalmente na descrição do movimento dos planetas e do comportamento periódico do clima da Terra. Fontes de corrente alternada geram tensões e correntes senoidais, e as ferramentas da análise de Fourier permitem analisar a resposta de um circuito a tais entradas senoidais. As ondas no oceano consistem na combinação linear de ondas senoidais com diferentes períodos espaciais ou comprimentos de onda. Os sinais transmitidos por estações de rádio e televisão também são senoidais por natureza. Para além desses poucos exemplos, uma rápida leitura de

temperatura da superfície terrestre por meio do efeito estufa. Ele anunciou que cortar a quantidade de CO<sub>2</sub> no ar pela metade esfriaria o mundo em talvez 5 °C, e que dobrar o CO<sub>2</sub> na atmosfera elevaria a temperatura da Terra em cerca de 5 ou 6 °C. Ao associar o aumento dos GEEs em virtude da queima antropogênica de combustíveis fósseis, Arrhenius é hoje conhecido com o "pai do aquecimento global". No entanto, no início dos anos 1900, a teoria de que o aumento do CO<sub>2</sub> poderia alterar o clima não era amplamente aceita, sendo que prevalecia a explicação (hoje consensualmente aceita) de que forçamentos orbitais (vide os Ciclos de Milankovitch) que eram os responsáveis por determinar a ocorrência das eras glaciais e interglaciais. Somente 40 anos depois que voltou à tona a temática do aquecimento global, quando Callendar mostrou, em seu trabalho de 1938, que a temperatura da Terra havia aumentado nos últimos 50 anos anteriores. Callendar também sugeriu que a produção de CO<sub>2</sub> pela combustão de combustíveis fósseis teria sido responsável por uma grande parte deste aquecimento, o que ficou conhecido por um tempo como o "efeito Callendar". Em recentes ocasiões, Callendar tem sido apontado com o "pai da ciência das mudanças climáticas" (WEART, 2003; HAWKINS; JONES, 2013).

<sup>311</sup> Baseado em Oppenheim e Willsky (2010) e em Pereyra e Ward (2012).

qualquer texto sobre análise de Fourier mostrará a imensa gama de aplicações em que surgem sinais senoidais e nas quais as ferramentas da análise de Fourier são fundamentalmente o úteis.

Embora muitas das aplicações focalizem os fenômenos em tempo contínuo, as ferramentas da análise de Fourier para sinais de tempo discreto têm suas próprias raízes históricas e um conjunto igualmente rico de aplicações. Em particular, conceitos e métodos de tempo discreto são fundamentais para a área de análise numérica. As fórmulas para o processamento de conjuntos discretos de pontos de dados para produzir aproximações numéricas para interpolação, integração e diferenciação estavam sendo investigadas desde a época de Newton, no séc. 17. Além disso, o problema de prever o movimento de um corpo celeste, dada uma sequência de observações do corpo, incentivou a investigação das séries de tempo harmônicas nos séculos 18 e 19 por eminentes cientistas e matemáticos, incluindo Gauss. Desse modo, proporcionou um segundo cenário em que grande parte dos trabalhos iniciais em sinais foi realizada.

Dessa longa história, emergiu uma estrutura poderosa e coesa para a análise de sinais, viabilizando um conjunto extraordinariamente amplo de aplicações existentes e potenciais. Longe de transcender o assunto específico da condução de calor, os trabalhos de Fourier estimularam a pesquisa em Física matemática, que desde então tem sido frequentemente identificada com a solução de problemas de valor sobre contorno, abrangendo muitas ocorrências naturais como manchas solares, marés e o clima.

Inicialmente, aplicava-se a *análise harmônica* para ondas cujas frequências são múltiplos inteiros, como é o caso das frequências das harmônicas das notas musicais<sup>312</sup>. Mas posteriormente, o uso do termo foi generalizado para além de seu significado musical original. Ao ser adotado em análises de problemas matemáticos relacionados a diversos fenômenos físicos, passou a contemplar as variações de comportamento oscilatório, com ondas de diferentes frequências.

Assim, a análise harmônica é um ramo da matemática que lida com a representação de funções ou sinais como uma superposição de ondas básicas. As ondas básicas são chamadas de *harmônicas*, mas o nome harmônico neste contexto é generalizado além de seu significado original de múltiplos de frequência inteira. A análise harmônica investiga e generaliza as noções de séries de Fourier e transformadas de Fourier, ferramentas matemáticas úteis em diferentes áreas da engenharia. Assim, em alguns casos, tal generalização de análise harmônica é assumida como sinônima da Análise de Fourier, séries de Fourier e transformadas de Fourier (SOBRAL; MACHADO, 2019).

Muitas abordagens diferentes de definição e compreensão do conceito de séries de Fourier foram

desenvolvidas desde então. Todos são consistentes um com o outro, mas cada um dos quais enfatiza diferentes aspectos do tópico, estendendo simultaneamente significativamente o conceito básico de análise harmônica. Algumas das abordagens mais poderosas e elegantes, baseadas em ideias matemáticas e ferramentas não disponíveis no momento em que Fourier estendeu seu trabalho original, são bem-sucedidas na análise harmônica no momento. Desde então, a análise harmônica passou a agregar muitas outras transformações relacionadas a Fourier (por exemplo, transformada de Laplace, transformada de Fourier, transformada de Fourier de curto período, transformada *wavelet*), estendendo a ideia inicial para outras aplicações.

No lado teórico, a teoria da série de Fourier foi uma força motriz no desenvolvimento da análise matemática, o estudo das funções de uma variável real. Por exemplo, noções de convergência foram criadas para lidar com as sutilezas das séries de Fourier; a teoria dos conjuntos, incluindo a construção dos números reais e as ideias de cardinalidade e contagem, foi desenvolvida por causa da teoria de Fourier. No lado aplicado, todo o processamento de sinais feito hoje depende da teoria de Fourier. Tudo, desde a tecnologia dos telefones celulares até o modo como as imagens são armazenadas e transmitidas pela *Internet*, depende da teoria das séries de Fourier. Mais recentemente, surgiu o campo das *wavelets*, unindo suas raízes na análise harmônica com desenvolvimentos teóricos e aplicados em campos como imagens médicas e sismologia.

Para encerramento deste tópico, toma-se a liberdade de transcrever parte das conclusões de Pifer e Aurani (2015), que aqui também se encaixam perfeitamente:

O estudo do desenvolvimento histórico da teoria da condução do calor de Fourier ilustra bem a natureza da ciência enquanto construção humana. Permite entender que os caminhos para alcançar a correta elaboração de uma teoria muitas vezes são tortuosos, com hipóteses confusas e frequentemente falhas. E ainda, que a criação de uma teoria está vinculada ao contexto histórico-filosófico. A reflexão acerca desses elementos, sobretudo no ensino de ciências, colabora com uma visão mais próxima da realidade, desmistificando a ideia de uma ciência pronta e acabada ou que é realizada apenas por figuras heroicas (PIFER; AURANI, 2015, p. 7).

### E.2.6.1. Consolidação da Análise Harmônica

Em meados do séc. 19, o físico e médico alemão Hermann Helmholtz [1821-1894] conectou os dois significados pela ideia de que o ouvido funciona como um

<sup>312</sup> Conforme mencionado no item "E.2.3. Música: raízes matemáticas e astronômicas" (p. 382), o termo *harmônica*, como múltiplo inteiro de uma frequência fundamental, foi usado pela primeira vez por Sauveur [1653-1716] em 1701. Assim,

na concepção original no âmbito da música, a *análise harmônica* é o estudo dos acordes individuais ou harmônicos em uma peça musical (BEACH, 1974).

analisador harmônico no sentido físico-matemático. Essa formulação da descoberta de Helmholtz sugere que a análise harmônica precedeu sua aplicação acústica e musical. O mesmo acontece com os fundamentos das análises de Joseph Fourier sobre o calor, e não com som, precedendo os estudos acústicos do físico e matemático Georg Ohm [1789-1854]. Tendo sido o primeiro a aplicar a teoria de Fourier a sinais acústicos, Ohm propôs, em 1843, sua “lei acústica”, a qual foi aprimorada e finalmente consolidada por Helmholtz em 1863. Na realidade, as primeiras raízes da análise harmônica podem ser encontradas no trabalho muito anterior de Daniel Bernoulli sobre a teoria das vibrações, que dependia crucialmente de conhecimento acústico anterior. Assim, as teorias acústicas para emissão, percepção e propagação de sons constantemente interligam harmônicos musicais e matemáticos, desde as primeiras intuições de Bernoulli sobre a teoria inicial dos corpos vibrantes, até a base perene de Fourier da análise harmônica, sobre a teoria da condução de calor. Os trabalhos do séc. 18 sobre cordas vibrantes foram estudados independentemente da teoria da música, embora seus autores estivessem profundamente envolvidos nela. A gênese da teoria do calor de Fourier foi estudada independentemente de seus antecedentes acústicos, apesar de Fourier estar ciente deles (DARRIGOL, 2007).

A base matemática da estimativa espectral moderna tem suas origens no trabalho do cientista Sir Isaac Newton<sup>313</sup>, no séc. 17. Ele observou que a luz do sol que passava por um prisma de vidro era expandida em uma faixa de muitas cores. Assim, ele descobriu que cada cor representava um comprimento de onda específico da luz e que a luz branca do Sol continha todos os comprimentos de onda. Foi também Newton quem introduziu, em 1671, a palavra *espectro*<sup>314</sup> como um termo científico para descrever essa faixa de cores claras. Newton apresentou em sua principal obra *Principia*, de 1687, o primeiro tratamento matemático da periodicidade do movimento das ondas que Pitágoras havia observado empiricamente (MARPLE, 2019).

Em 1738, a solução da equação de onda para a corda musical vibratória foi desenvolvida pelo matemático Daniel Bernoulli. Somente em 1822 que o engenheiro francês Jean Baptiste Joseph Fourier, em sua tese *A Teoria Analítica do Calor*, estendeu os resultados da equação de onda afirmando que qualquer função arbitrária, mesmo uma com um

número finito de descontinuidades, poderia ser representada como uma soma infinita de termos seno e cosseno, inaugurando uma nova era na Física Matemática. Assim, o procedimento matemático de adotar uma função e determinar seus coeficientes tornou-se conhecida como *Análise Harmônica*, devido à indexação harmônica das frequências nos termos seno e cosseno (MARPLE, 2019).

Sob a abordagem iniciada por Fourier, o conjunto de técnicas de análise de séries temporais vem sendo empregado largamente em diversos ramos da Engenharia Elétrica/Eletrônica (processamento de sinais elétricos), Física (Astronomia: movimentos orbitais de planetas; Acústica: processamento de sons; Óptica), Matemática/Estatística (equações diferenciais parciais, teoria dos números, teoria da probabilidade, combinatória, análise numérica), Biologia (ritmos circadianos), Medicina (Cardiologia: eletrocardiograma; Neurologia: eletroencefalograma), Ciências Físicas (Meteorologia: precipitação pluviométrica, temperatura diária, velocidade do vento; Oceanografia: maré horária; Geologia (Estratigrafia: camadas rochosas; Sismologia: abalos de terremotos), Hidrologia (vazões de rios), Ciências da Computação (processamento de imagens), Ciências Econômicas (preços diários de ações, desemprego mensal, exportação mensal), Ciências Humanas (Sociologia: criminalidade mensal, greves anuais; Demografia: população anual, nascimentos e mortes mensais) Telecomunicações entre diversas outras. O envolvimento de tantas ciências distintas, áreas com diferentes tradições, doutrinas e vocabulários, podem gerar, inicialmente, certas dificuldades no entendimento do assunto. Todavia, assim que as ideias fundamentais são compreendidas, a aplicação prática das técnicas apresenta resultados visualmente interessantes e estimulantes, tanto pelo aspecto estético elegante, quanto pela capacidade sintética das técnicas proporcionarem uma imediata assimilação do significado das feições destacadas pelas análises.

Em meados da década de 1960, foi apresentado um algoritmo conhecido atualmente como *transformada rápida de Fourier* (FFT, difundida sigla proveniente do Inglês *Fast Fourier Transform*) – a ser tratado no próximo item. Tal algoritmo, que foi descoberto independentemente por Cooley e Tukey em 1965, também tem uma história considerável, remetendo a anotações de Gauss<sup>315</sup>. O que

<sup>313</sup> Sir Isaac Newton [1642–1727] foi um matemático, físico, astrônomo, alquimista, teólogo e autor inglês reconhecido como um dos maiores matemáticos e físicos de todos os tempos e entre os cientistas mais influentes.

<sup>314</sup> *Espectro* é uma variante da palavra latina *spectrum*, que significa “imagem ou aparição fantasmagórica”. O adjetivo associado ao espectro é *espectral*; assim, “estimativa espectral” é a terminologia preferencial.

<sup>315</sup> Johann Carl Friedrich Gauss [1777-1855], eminente matemático e físico alemão, com notáveis contribuições em diversos campos da matemática e das ciências. Às vezes referido como o *mathematicorum Princeps* (do latim, “príncipe dos matemáticos”) e “o maior matemático desde a antiguidade”, é considerado entre os matemáticos mais influentes da história. Segundo Heideman, Johnson e Burrus (1984), Gauss teria inventado o algoritmo da FFT para calcular as transformadas

discretas de Fourier 160 anos antes de Cooley e Tukey. Embora talvez não seja uma influência direta, o algoritmo desenvolvido por Cooley e Tukey claramente teve suas raízes do início do século 20. Atribui-se a Gauss um algoritmo similar ao FFT para o cálculo dos coeficientes de uma série finita de Fourier. O tratado de Gauss descrevendo o algoritmo não foi publicado em sua vida, tendo aparecido como publicação postumamente em 1876, a partir da coleta de manuscritos e anotações pessoais. O ano presumido da composição desse tratado é 1805, sugerindo que algoritmos eficientes para avaliar os coeficientes das séries de Fourier foram desenvolvidos pelo menos um século antes do que se pensava anteriormente. Se este ano for preciso, seria inclusive anterior ao trabalho de Fourier, de 1807, sobre a análise harmônica. O algoritmo de Gauss, mais um exemplo do seu típico virtuosismo, passou por quase

tornou sua descoberta moderna tão importante foi o fato de que a FFT mostrou-se perfeitamente adequada para uma eficiente implementação digital, reduzindo em algumas ordens de grandeza o tempo necessário para calcular as transformadas. Antes da FFT, eram impraticáveis muitas ideias interessantes que utilizavam a série e transformada de Fourier de tempo discreto. Com tal ferramenta, os cálculos tornaram-se viáveis com as implementações computacionais e, assim, o desenvolvimento das técnicas de análise de sinais seguiram em um ritmo acelerado.

### E.3. FAST FOURIER TRANSFORM (FFT)

A ideia subjacente à FFT remonta a Gauss<sup>316</sup> que, em 1805, utilizou o conceito no cálculo de órbitas de asteroides. Todavia, foi um artigo de Cooley e Tukey (1965), que deixou claro a facilidade com que as transformadas de Fourier podem ser computadas. Também conhecida como algoritmo “Cooley-Tukey” após a redescoberta e popularização, a FFT conta com uma estratégia de dividir e conquistar para reduzir uma tarefa que antes era ostensivamente demorada para algo bastante rápido em termos computacionais. A FFT calcula eficientemente a transformada discreta de Fourier (conhecida por sua sigla do Inglês *DFT*, de *Discrete Fourier Transform*). Enquanto antes uma transformada de Fourier de uma série de dados com tamanho  $N$  demandava o cálculo de operações ( $O$ ) que estava relacionada na proporção de  $O(N^2)$ , a FFT permitiu reduzir tal a quantidade de operações para a relação  $O(N \log N)$ . Por exemplo, um série com  $N = 4.096$ , que antes exigia mais de 16 milhões ( $4.096^2$ ) de operações, com a FFT passou a requerer somente cerca de 15 mil [ $4.096 * \log(4.096)$ ] operações, ou seja, o novo algoritmo representou um avanço de 1.000 vezes mais rapidez nos cálculos. Isso por si só deu à ciência da computação um ímpeto para investigar a complexidade inerente a problemas e algoritmos computacionais (ROCKMORE, 2000).

#### E.3.1. Evolução dos meios e do tempo de cálculo da FFT<sup>317</sup>

Não se sabe ao certo o grau de dificuldade e o tempo gasto nos cálculos manuais da transformada de Fourier, mas uma fala de Gauss exprime a essência de como tal tarefa era árdua, no início do séc. 19: “*A experiência ensinará ao usuário que esse método diminuirá bastante o tédio do cálculo mecânico*”. (COSTAIN; ÇORUH, 2004, p. 89).

Um breve levantamento permite resgatar que a FFT passou por três grandes fases: de 1800 a 1870: fase de cálculos manuais; de 1870 a 1930: fase de cálculos mecânicos (máquinas); e de 1930 em diante: fase de cálculos digitais (computadores). Na sequência, são detalhadas essas fases, assim como os respectivos meios utilizados e o tempo gasto no cálculo da transformada de Fourier:

- **Primeira fase (1800 a 1870):** Em torno do ano 1850, intensificaram-se as aplicações científicas práticas usando análise harmônica no estudo de dados fenomenológicos como som, clima, atividade de manchas solares, desvios magnéticos, vazões de rios e variações de marés. Em muitas dessas aplicações, o período fundamental apresentava-se ou obscurecido por conta do ruído do erro de medição ou simplesmente não era visualmente evidente. Além disso, componentes periódicos secundários que não apresentavam relação harmônica com a periodicidade fundamental estavam frequentemente presentes. Isso gerou alguns problemas com as estimativas das várias periodicidades. O cálculo manual dos coeficientes da série Fourier por técnicas computacionais diretas ou por métodos de auxílio gráfico mostrou-se extremamente tedioso e limitou-se a conjuntos de dados muito pequenos. Naquela época, os cientistas calculavam, manualmente, séries com tamanho de  $N = 12$  a  $N = 64$  amostras, mas sem relatos do tempo gasto nos cálculos (HEIDEMAN; JOHNSON; BURRUS, 1984; MARPLE, 2019). Até meados do séc. 19, a análise de Fourier ainda consistia em um trabalho tedioso e propenso a erros de cálculos manuais. Nesse sentido, para auxiliar nesse árduo tipo de análise, foram desenvolvidos analisadores harmônicos mecânicos. Essas máquinas de calcular eram basicamente integradores mecânicos, ou planímetros, porque encontraram a área sob as curvas de  $Z(t) \cos(2\pi nt / P)$  e  $Z(t) \sin(2\pi nt / P)$  [das equações (12) e (13), pg. 295] no intervalo  $0 \leq t \leq \pi$ , assim fornecendo, respectivamente, um cálculo dos coeficientes da série de Fourier  $a_n$  e  $b_n$ .

- **Segunda fase (1870 a 1930):** A partir da década de 1870, o físico britânico Sir William Thomson<sup>318</sup> e seu irmão construíram o primeiro analisador harmônico mecânico. A elaborada engenhoca de engrenagem e polia analisava segmentos de forma de onda traçados à mão. O analisador atuava como um integrador mecânico, encontrando a área

cem anos entre sua publicação e a moderna redescoberta dessa abordagem por Cooley e Tukey (HEIDEMAN; JOHNSON; BURRUS, 1984).

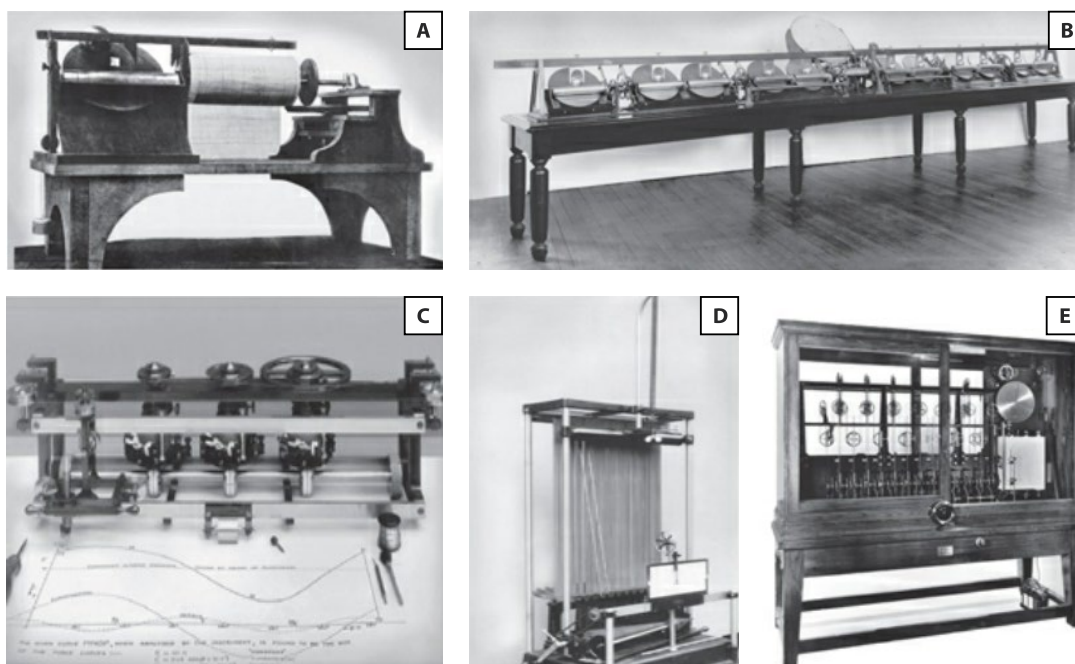
<sup>316</sup> Ver nota de rodapé n. 315.

<sup>317</sup> Baseado em Rockmore (2000).

<sup>318</sup> Sir William Thomson [1824-1907], físico matemático britânico, contribuiu com trabalhos importantes na análise matemática da eletricidade e na formulação da primeira e segunda leis da termodinâmica. Também conhecido como Lord Kelvin, a escala Kelvin de temperaturas absolutas foram assim denominadas em sua homenagem.

sob as ondas seno e cosseno para todos os harmônicos de um período fundamental. Os gráficos (A) e (B) da **Figura 211** ilustram duas versões deste tipo de dispositivo, que foi usado pelo Serviço Meteorológico Britânico para analisar registros gráficos de mudanças diárias na temperatura e pressão atmosférica. Devido ao seu tamanho e peso, era praticamente um elemento permanente na sala onde era utilizado. Melhorias nos analisadores harmônicos foram subsequentemente feitas por O. Henrici em 1894 [**Figura 211-(C)**] e, em 1898, pelos físicos americanos Albert Michelson<sup>319</sup> e Samuel Stratton [**Figura 211-(D)**]. Esse analisador harmônico de Michelson-Stratton, projetado usando molas em espiral, foi a máquina provavelmente mais sofisticada. Ela era particularmente impressionante, pois não apenas podia realizar a análise de 81 coeficientes harmônicos simultaneamente, como também poderia funcionar como sintetizador na construção de uma série a partir da superposição das componentes das séries de Fourier. Isto é, a máquina realizava a transformada inversa de Fourier ao inverter a análise mecanicamente para reconstruir o sinal de entrada. Os resultados de uma análise harmônica naquela

época eram algumas vezes usados para sintetizar uma forma de onda periódica dos componentes harmônicos para fins de previsão. Um dos primeiros usos nesse sentido foi para previsão de marés. Usando cálculo manual direto, Sir William Thomson realizou análises harmônicas de observações de marés de portos britânicos a partir de 1866. Em 1872 ele havia desenvolvido uma máquina de previsão de marés que utilizava os coeficientes estimados de sua análise harmônica. Como o preditores de marés, versões posteriores desta máquina [**Figura 211-(E)**], ainda bastante grande (base de 1 metro por 2 metros), poderiam combinar até 10 constituintes harmônicos de marés, cada um em função do porto onde as marés deveriam ser previstas, inicializando a máquina por configurações de manivelas e polias. Essa máquina levava aproximadamente quatro horas para desenhar um ano de curvas de marés para um porto. Por fim, encerrando a segunda fase, Weiner e outros matemáticos refinaram e estenderam, em 1930, a teoria do método de Fourier. Os engenheiros projetaram bancos de filtros analógicos para executar tipos simples de análise de espectro (MARPLE, 2019).



**Figura 211** – Analisadores e sintetizadores harmônicos mecânicos do século 19 (transformadores de Fourier direto e inverso, 1876-1890). (A) Máquina de Transformada de Fourier– 1 termo (Analisador harmônico de Thomson, 1876). (B) Máquina de Transformada de Fourier– 7 termos (Processador Mecânico Paralelo de Thomson, 1878). (C) Máquina de Transformada de Fourier– 3 termos (Analisador harmônico de Henrici-Coradi, 1894); (D) Máquina de Transformada Direta e Inversa de Fourier – 81 termos (de Michelson-Stratton, 1898). (E) Máquina de Transformada Inversa de Fourier – 15 termos (Preditor de marés de Thomson, 1890). Fonte: modificado de Marple (2019).

<sup>319</sup> Albert Abraham Michelson [1852-1931], físico norte-americano, famoso por sua medição da velocidade da luz. Michelson usou a máquina [Figura 211-(D)] em seus estudos ópticos que resultaram na conquista do Prêmio Nobel. Como sintetizador, a máquina poderia prever padrões de interferência de borda, representando-os como

curvas harmônicas simples. Como analisador, a máquina permitia decompor uma curva de visibilidade em componentes harmônicos que representam a distribuição harmônica da luz em uma fonte (MARPLE, 2019).

- **Terceira fase (1930 em diante):** Na década de 1940, Após o desenvolvimento de computadores com programas armazenados, os programadores criaram as primeiras implementações digitais da transformada de Fourier, mas elas consumiam enormes quantidades de tempo despendidos no computador (tempo de processamento era um recurso bastante escasso naquela época) (ROADS, 1996). No início da década de 1940, os cálculos de uma DFT demoravam os seguintes tempos: 10 minutos para  $N = 8$ ; 25 minutos para  $N = 16$ ; 60 minutos para  $N = 32$ ; e 140 minutos para  $N = 64$  (ROCKMORE, 2000). Em meados da década de 1960, os volumosos cálculos necessários para a análise de Fourier foram bastante reduzidos por um conjunto de algoritmos da FFT, descritos por Cooley e Tukey (1965). Em 1967, logo depois da descoberta e rápida difusão do algoritmo da FFT, o cálculo de uma série com  $N = 8192$  amostras, que antes levava 30 minutos no método antigo, passou a gastar somente 5 segundos com o uso da FFT (COCHRAN et al., 1967). Atualmente, na década de 2000, uma amostra com  $N = 16.384$  passou a ser calculada quase que instantaneamente aos olhos humanos, na ordem de centésimos de segundo (0,01 s) (GANAPATHIRAJU et al., 1999)

Embora a FFT tenha proporcionado um avanço extraordinário na substancial redução do tempo dos cálculos da transformada de Fourier, e mesmo em associação com a evolução exponencial das tecnologias da computação, ela ainda hoje não é o suficiente em algumas aplicações específicas. Por exemplo, a Astronomia, uma das principais consumidoras da grande tecnologia da FFT, em 1968 já possuía séries com  $N = 512.000$  amostras para serem utilizadas em cálculos de interferometria. Hoje, as necessidades de projetos como o MAP (*Microwave Anisotropy Project*, que visa testar as teorias sobre a origem e evolução do universo) ou o LIGO (*Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory*, que busca detectar ondas gravitacionais) exigirem cálculos de FFTs de até bilhões de pontos. Os cálculos de FFTs desse tamanho não se encaixam na memória principal da maioria das máquinas atuais, e essas chamadas “FFTs fora do núcleo” são, hoje, uma área ativa de pesquisa (ROCKMORE, 2000).

### E.3.2. História da FFT<sup>320</sup>

Assim como a singular história das séries e transformadas de Fourier, a FFT também possui uma história incomum que motiva uma pequena retrospectiva histórica. A primeira

aparição da FFT, como grande parte da matemática, remonta a Gauss<sup>321</sup>. Seus interesses estavam em obter certos cálculos astronômicos (uma área recorrente de aplicação da FFT) relacionados à interpolação de órbitas de asteroides de um conjunto finito de observações igualmente espaçadas. Certamente, a perspectiva de uma trabalhosa tarefa de realizar inúmeros cálculos manualmente foi uma boa motivação para o desenvolvimento de um algoritmo rápido. Menos cálculos também implicam menos chances de erros e, portanto, também são mais numericamente estáveis. Gauss observou que uma série de Fourier poderia ser subdividida em cálculos de DFTs menores, exatamente como explicaram Cooley e Tukey.

O algoritmo de Gauss nunca foi publicado durante sua vida. Somente postumamente seus manuscritos foram coletados e publicados décadas depois. Sendo 1805 o ano presumido dos manuscritos de Gauss, os algoritmos eficientes para avaliar coeficientes das séries de Fourier foram desenvolvidos antes mesmo do trabalho de Fourier, em 1807, sobre representação de funções como séries harmônicas infinitas. Ao longo dos séculos 19 e 20, algumas formas limitadas de FFT também foram redescobertas. Mas entre a publicação do algoritmo de Gauss e a redescoberta moderna dessa abordagem por Cooley e Tukey, quase cem anos se passaram. Além do virtuosismo de Gauss, a história<sup>322</sup> da FFT demonstra que certos problemas podem ser atemporais, mas sua solução é redescoberta várias vezes.

O algoritmo da FFT ganhou grande notoriedade com o artigo de Cooley e Tukey (1965), cuja história de sua colaboração é interessante: Tukey chegou à descoberta enquanto estava em uma reunião do Comitê Consultivo Científico do Presidente Kennedy, no qual, entre os tópicos de discussões, havia técnicas para detecção de testes nucleares na União Soviética. A ratificação de uma proposta de proibição de testes nucleares dos Estados Unidos/União Soviética dependia do desenvolvimento de um método para detectar os testes sem realmente precisar visitar as instalações nucleares soviéticas. Uma ideia era utilizar sismômetros localizados em territórios distantes e analisar as séries temporais sismológicas, cujo comprimento e número exigiriam algoritmos rápidos para o cálculo da DFT. Outras aplicações possíveis à segurança nacional incluíam a detecção acústica de longo alcance de submarinos nucleares.

Quando Tukey mostrou essa ideia a Richard Garwin, da IBM, também participante da reunião, ele imediatamente viu uma ampla gama de aplicabilidade potencial e rapidamente se pôs a implementar esse algoritmo. Assim, Tukey foi direcionado a Cooley e, precisando ocultar as questões de segurança nacional, disse a Cooley que necessitava do código para outro problema de interesse: a

<sup>320</sup> Baseado em Rockmore (2000).

<sup>321</sup> Ver nota de rodapé n. 315.

<sup>322</sup> Essa visão fascinante da investigação histórica é que o método rápido de Gauss para avaliar a soma de uma série de Fourier antecedeu o trabalho no qual a fama de

Fourier se baseia. Deve-se salientar que o artigo de Gauss não foi publicado até muito mais tarde, em 1876. Além disso, quando Fourier introduziu a ideia de representar uma função periódica arbitrária como uma série trigonométrica, houve resistência de eminentes matemáticos, como Lagrange.

determinação das periodicidades das orientações de rotação em um cristal 3D de  $^3\text{He}$ . Cooley tinha outros projetos em andamento, e somente depois de muita insistência ele se sentou para programar o algoritmo FFT de “Cooley-Tukey”. Em relativo pouco tempo, Cooley e Tukey prepararam e publicaram, em 6 meses, o famoso artigo. Tal publicação, bem como o proselitismo fervoroso de Garwin, ajudou muito a divulgar a existência desse (aparentemente) novo algoritmo rápido. Quando a FFT foi destacada por Cooley e Tukey em 1965, ela teve uma recepção entusiástica no vasto mundo de análise de sinais elétricos, à medida que as notícias se espalhavam por meio de artigos tutoriais e edições especiais de periódicos. Esse fermento causou uma leve surpresa no mundo da análise numérica, onde técnicas relacionadas já eram conhecidas. O desenvolvimento quase simultâneo de conversores analógico para digital já havia iniciado uma revolução digital e também estava fornecendo aos cientistas quantidades até então inimagináveis de dados digitais para analisar e manipular, agora com a disponibilidade de um algoritmo FFT capaz de realizar cálculos vertiginosos.





**VOLUME 2**

**PARTE VI**

**ESTUDOS E DADOS:**

**Material e Métodos**



## VOLUME 2 – PARTE VI

**APÊNDICE F****MATERIAL:****Obtenção e Avaliação de Séries de Temperatura do Ar no Brasil****F.1. INTRODUÇÃO**

Neste APÊNDICE F são apresentados alguns pequenos ensaios que foram realizados na ocasião de pesquisa de doutorado iniciada em 2012 na UnB. Na ocasião da investigação, o intuito era fazer um estudo exploratório e estatístico com vistas à obtenção da temperatura do ar no Brasil, que inexistia até então naquela época. No entanto, a pesquisa foi interrompida por acontecimentos fortuitos. Além disso, com o advento da série BEST, o projeto tornou-se menos oportuno.

Os textos aqui apresentados foram publicados em eventos da área da Climatologia. Eles fazem parte de uma linha de investigação que se iniciou em Monografia de Trabalho de Graduação (OLIVEIRA, 2007)<sup>323</sup> e prosseguiu em Dissertação de Mestrado (OLIVEIRA, 2010)<sup>324</sup>. Em ambos trabalhos foram estudadas medições de temperatura do ar e fatores que podem interferir e incorporar fatores não climáticos, incluindo comparações entre: tipos de

instrumentos em estações meteorológicas convencional a automática, com diferentes sensores de medição de temperatura (termômetro de mercúrio, termógrafo e sensores elétricos) e respectivos tipos de abrigos meteorológicos (abrigo plástico e abrigo de madeira do tipo Stevenson); e diferentes métodos de cálculos de médias das temperaturas.

O projeto de pesquisa<sup>325</sup> de Doutorado na UnB visava detectar e quantificar, utilizando técnicas de sensoriamento remoto, o efeito da urbanização nos valores de temperatura do ar obtidos em estações meteorológicas terrestres da rede do INMET. A seguir, como registro de parte do desenvolvimento do trabalho que foi realizado, os textos ilustram a quantidade de nuances e detalhes que envolvem a complexa tarefa da obtenção de temperaturas, indicador de extrema importância e utilização nos estudos de mudanças climáticas.

**F.2. A EXPANSÃO URBANA COMO PROCESSO DE “TRANSFORMAÇÃO” DE ESTAÇÕES CLIMATOLÓGICAS RURAIS EM URBANAS**

**Observação:** nesta versão corrigida da Tese, suprimiu-se o texto do presente item. Alternativamente, o conteúdo pode ser consultado, na íntegra, em sua publicação original, conforme referência:

- OLIVEIRA, M.J.; BAPTISTA, G.M.M.; MACHADO, W.P. A expansão urbana como processo de “transformação” de estações climatológicas rurais em urbanas. *In: XV Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada (SBGFA)*, 15, 2013, Vitória/ES. *Anais [...]*. Vitória/ES: UFES, 2013. v. 15. p. 109-118. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/326007452\\_A\\_expansao\\_urbana\\_como\\_processo\\_de\\_transformacao\\_de\\_estacoes\\_climatologicas\\_rurais\\_em\\_urbanas](https://www.researchgate.net/publication/326007452_A_expansao_urbana_como_processo_de_transformacao_de_estacoes_climatologicas_rurais_em_urbanas) – Acesso em: 05 abr. 2021.

<sup>323</sup> Título: “Avaliação experimental de interferências causadas pela radiação solar global e pela velocidade dos ventos em medições climatológicas da temperatura do ar”.

<sup>324</sup> Título: “Incertezas associadas à temperatura do ar no contexto das mudanças climáticas: determinação das causas e efeitos de heterogeneidades e discussão das implicações práticas”.

<sup>325</sup> Título: “Efeito da urbanização nos valores de temperatura do ar obtidos na rede brasileira de estações meteorológicas terrestres”.

### F.3. TEMPERATURA DO AR NO BRASIL: ANÁLISE PRELIMINAR DE DADOS OBTIDOS NA REDE DO INMET, DE 1961 A 2011

**Observação:** nesta versão corrigida da Tese, suprimiu-se o texto do presente item. Alternativamente, o conteúdo pode ser consultado, na íntegra, em sua publicação original, conforme referência:

- OLIVEIRA, M.J.; BAPTISTA, G.M.M. Temperatura do ar no Brasil: Análise preliminar de dados obtidos na rede do INMET, de 1961 a 2011. *In: XVII Congresso Brasileiro de Meteorologia*, 17, 2012, Gramado. **Anais [...]**. Gramado, 2012. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/358414411\\_Temperatura\\_do\\_ar\\_no\\_Brasil\\_Analise\\_preliminar\\_de\\_dados\\_obtidos\\_na\\_rede\\_do\\_INMET\\_de\\_1961\\_a\\_2011](https://www.researchgate.net/publication/358414411_Temperatura_do_ar_no_Brasil_Analise_preliminar_de_dados_obtidos_na_rede_do_INMET_de_1961_a_2011) – Acesso em: 05 abr. 2021.

### F.4. DISTRIBUIÇÃO E REPRESENTATIVIDADE ESPACIAL DA REDE BRASILEIRA DE ESTAÇÕES CLIMATOLÓGICAS DO INMET PARA USO POTENCIAL DOS DADOS DE TEMPERATURA DO AR

**Observação:** nesta versão corrigida da Tese, suprimiu-se o texto do presente item. Alternativamente, o conteúdo pode ser consultado, na íntegra, em sua publicação original, conforme referência:

- OLIVEIRA, M.J.; BAPTISTA, G.M.M.; MACHADO, W. P. Distribuição e representatividade espacial da rede brasileira de estações climatológicas do INMET para uso potencial dos dados de temperatura do ar. *In: XVII Congresso Brasileiro de Meteorologia*, 17, 2012, Gramado. **Anais [...]**. Gramado, 2012. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/358414492\\_Distribuicao\\_e\\_representatividade\\_espacial\\_da\\_rede\\_brasileira\\_de\\_estacoes\\_climatologicas\\_do\\_INMET\\_para\\_uso\\_potencial\\_dos\\_dados\\_de\\_temperatura\\_do\\_ar](https://www.researchgate.net/publication/358414492_Distribuicao_e_representatividade_espacial_da_rede_brasileira_de_estacoes_climatologicas_do_INMET_para_uso_potencial_dos_dados_de_temperatura_do_ar) – Acesso em: 05 abr. 2021.

### F.5. EVOLUÇÃO TEMPORAL DA LOCALIZAÇÃO MÉDIA DA TEMPERATURA DO AR OBTIDA EM ESTAÇÕES DA REDE DO INMET

**Observação:** nesta versão corrigida da Tese, suprimiu-se o texto do presente item. Alternativamente, o conteúdo pode ser consultado, na íntegra, em sua publicação original, conforme referência:

- OLIVEIRA, M.J.; BAPTISTA, G.M.M.; MACHADO, W. P. Evolução temporal da localização média da temperatura do ar obtida em estações da rede do INMET. **Revista GeoNorte**, v. 1, p. 573-584, 2012. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/280495714\\_Evolucao\\_Temporal\\_da\\_Localizacao\\_Media\\_da\\_Temperatura\\_d\\_o\\_Ar\\_obtida\\_em\\_Estacoes\\_da\\_Rede\\_do\\_INMET](https://www.researchgate.net/publication/280495714_Evolucao_Temporal_da_Localizacao_Media_da_Temperatura_d_o_Ar_obtida_em_Estacoes_da_Rede_do_INMET) – Acesso em: 05 abr. 2021.

### F.6. TEMPERATURA DO AR NO BRASIL DESDE 1832: COMPARAÇÃO DOS DADOS DO INMET, HADCRUT4 E BEST

**Observação:** nesta versão corrigida da Tese, suprimiu-se o texto do presente item. Alternativamente, o conteúdo pode ser consultado, na íntegra, em sua publicação original, conforme referência:

- OLIVEIRA, M.J.; ALVARES, C.A.; VECCHIA, F.A.S. Temperatura do ar no Brasil desde 1832: comparação dos dados do INMET, HadCRUT4 e BEST. *In: XVIII Congresso Brasileiro de Meteorologia (CBMET)*, 2014, Recife. **Anais [...]**. Recife, 2014. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/358415027\\_Temperatura\\_do\\_ar\\_no\\_Brasil\\_desde\\_1832\\_comparacao\\_dos\\_dados\\_do\\_INMET\\_HadCRUT4\\_e\\_BEST](https://www.researchgate.net/publication/358415027_Temperatura_do_ar_no_Brasil_desde_1832_comparacao_dos_dados_do_INMET_HadCRUT4_e_BEST) – Acesso em: 05 abr. 2021.

## VOLUME 2 – PARTE VI

**APÊNDICE G****MATERIAL:****Séries de Temperatura do Ar (Global e no Brasil)****G.1. TEMPERATURA SUPERFICIAL DO AR GLOBAL – HADCRUT3**

- **Nome da série:** HadCRUT3;
- **Fonte/referência:** CRU (2014)<sup>326</sup>;
- **Resolução temporal:** mensal;
- **Período de dados disponível na Fonte:** jan/1850 a dez/2014;
- **Período de dados utilizado nas análises:** jan/1850 a dez/2011;
- **Desvios/anomalias de temperatura**<sup>327</sup>: relativos à média do período jan/1961 a dez/1990; e
- **TABELA DOS DADOS BRUTOS**<sup>328</sup>:

ANO/MÊS	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANO
1850	-0,691	-0,357	-0,816	-0,586	-0,385	-0,311	-0,237	-0,340	-0,510	-0,504	-0,259	-0,318	-0,443
1851	-0,345	-0,394	-0,503	-0,480	-0,391	-0,264	-0,279	-0,175	-0,211	-0,123	-0,141	-0,151	-0,288
1852	-0,398	-0,513	-0,546	-0,610	-0,274	-0,107	-0,061	-0,235	-0,206	-0,303	-0,238	0,017	-0,289
1853	-0,229	-0,407	-0,364	-0,395	-0,338	-0,261	-0,146	-0,232	-0,453	-0,450	-0,271	-0,456	-0,333
1854	-0,398	-0,329	-0,311	-0,385	-0,295	-0,273	-0,289	-0,229	-0,155	-0,260	-0,438	-0,288	-0,304
1855	-0,213	-0,430	-0,344	-0,241	-0,391	-0,254	-0,325	-0,204	-0,356	-0,265	-0,253	-0,527	-0,317
1856	-0,227	-0,425	-0,544	-0,367	-0,167	-0,357	-0,355	-0,335	-0,483	-0,427	-0,671	-0,531	-0,407
1857	-0,580	-0,339	-0,483	-0,689	-0,586	-0,338	-0,582	-0,362	-0,418	-0,534	-0,711	-0,391	-0,501
1858	-0,527	-0,759	-0,594	-0,543	-0,719	-0,586	-0,394	-0,331	-0,389	-0,251	-0,681	-0,356	-0,511
1859	-0,352	-0,230	-0,384	-0,237	-0,340	-0,277	-0,344	-0,143	-0,651	-0,325	-0,384	-0,433	-0,342
1860	-0,202	-0,437	-0,598	-0,365	-0,351	-0,329	-0,156	-0,228	-0,261	-0,223	-0,504	-0,722	-0,365
1861	-0,813	-0,479	-0,493	-0,379	-0,767	-0,174	-0,310	-0,175	-0,380	-0,397	-0,411	-0,194	-0,415
1862	-0,731	-0,787	-0,447	-0,258	-0,251	-0,397	-0,400	-0,745	-0,442	-0,436	-0,776	-0,777	-0,537
1863	0,157	-0,079	-0,413	-0,247	-0,340	-0,440	-0,443	-0,402	-0,413	-0,447	-0,380	-0,325	-0,314
1864	-0,930	-0,621	-0,562	-0,556	-0,412	-0,242	-0,157	-0,356	-0,450	-0,741	-0,459	-0,560	-0,504
1865	-0,178	-0,602	-0,613	-0,172	-0,241	-0,247	-0,155	-0,248	-0,079	-0,320	-0,233	-0,338	-0,285
1866	-0,051	-0,190	-0,632	-0,238	-0,549	0,024	-0,048	-0,298	-0,284	-0,407	-0,361	-0,373	-0,284
1867	-0,346	0,040	-0,663	-0,222	-0,499	-0,278	-0,299	-0,237	-0,100	-0,231	-0,307	-0,593	-0,311
1868	-0,726	-0,440	-0,049	-0,380	-0,069	-0,212	0,097	-0,125	-0,259	-0,308	-0,531	-0,143	-0,262
1869	-0,166	0,201	-0,615	-0,232	-0,285	-0,402	-0,306	-0,169	-0,237	-0,520	-0,442	-0,337	-0,292
1870	-0,069	-0,402	-0,479	-0,185	-0,145	-0,224	-0,015	-0,255	-0,280	-0,384	-0,202	-0,721	-0,280
1871	-0,448	-0,490	-0,006	-0,139	-0,272	-0,194	-0,027	-0,239	-0,445	-0,520	-0,586	-0,589	-0,330
1872	-0,339	-0,373	-0,490	-0,203	-0,090	-0,214	-0,130	-0,075	-0,160	-0,269	-0,308	-0,437	-0,257

<sup>326</sup> Disponível em: <https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/crutem3/> – Especificamente na Tabela *Data for Downloading, Dataset: HadCRUT3, Hemispheric & global means: GL* – Link direto: <https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/crutem3/HadCRUT3-gl.dat> | Cópias dos arquivos de dados também estão disponíveis em: [http://bit.ly/tese\\_oliveira\\_2021](http://bit.ly/tese_oliveira_2021)

<sup>327</sup> Conforme indicado pela fonte original.

<sup>328</sup> Os dados foram adaptados para caber nessa tabela, bem como tiveram os fundos coloridos para destacar desvios negativos (tons verdes), desvios próximos de zero (tons amarelos) e desvios positivos (tons alaranjados/vermelhos).

1873	-0,061	-0,401	-0,283	-0,544	-0,415	-0,272	-0,180	-0,175	-0,380	-0,472	-0,474	-0,317	-0,331
1874	0,008	-0,503	-0,608	-0,534	-0,451	-0,428	-0,162	-0,365	-0,227	-0,489	-0,577	-0,448	-0,399
1875	-0,605	-0,634	-0,628	-0,462	-0,189	-0,255	-0,312	-0,230	-0,310	-0,389	-0,512	-0,455	-0,415
1876	-0,304	-0,281	-0,445	-0,333	-0,536	-0,302	-0,161	-0,296	-0,464	-0,423	-0,591	-0,663	-0,400
1877	-0,315	0,091	-0,308	-0,283	-0,463	-0,100	-0,024	0,103	0,003	0,002	0,047	0,179	-0,089
1878	0,160	0,364	0,322	0,317	-0,111	-0,007	-0,046	-0,040	-0,025	-0,127	-0,136	-0,340	0,028
1879	-0,204	-0,165	-0,182	-0,230	-0,176	-0,221	-0,217	-0,239	-0,246	-0,218	-0,478	-0,580	-0,263
1880	-0,007	-0,250	-0,176	-0,151	-0,245	-0,336	-0,295	-0,153	-0,251	-0,413	-0,479	-0,337	-0,258
1881	-0,399	-0,262	-0,260	-0,186	-0,043	-0,248	-0,126	-0,150	-0,304	-0,324	-0,435	-0,186	-0,243
1882	0,052	-0,059	-0,055	-0,291	-0,393	-0,353	-0,247	-0,280	-0,137	-0,345	-0,358	-0,503	-0,247
1883	-0,452	-0,337	-0,295	-0,359	-0,311	-0,077	-0,195	-0,196	-0,321	-0,395	-0,319	-0,326	-0,299
1884	-0,347	-0,250	-0,384	-0,496	-0,350	-0,381	-0,381	-0,373	-0,300	-0,300	-0,594	-0,456	-0,384
1885	-0,542	-0,504	-0,426	-0,455	-0,445	-0,491	-0,304	-0,354	-0,247	-0,281	-0,203	-0,095	-0,362
1886	-0,373	-0,478	-0,384	-0,170	-0,063	-0,262	-0,183	-0,179	-0,247	-0,296	-0,396	-0,266	-0,275
1887	-0,421	-0,504	-0,359	-0,395	-0,286	-0,398	-0,232	-0,367	-0,301	-0,499	-0,437	-0,439	-0,386
1888	-0,654	-0,514	-0,583	-0,244	-0,333	-0,262	-0,346	-0,290	-0,256	-0,148	-0,209	-0,200	-0,337
1889	-0,137	-0,115	-0,071	-0,009	-0,104	-0,156	-0,210	-0,255	-0,369	-0,330	-0,420	-0,134	-0,193
1890	-0,295	-0,352	-0,434	-0,333	-0,440	-0,405	-0,442	-0,456	-0,486	-0,535	-0,594	-0,410	-0,432
1891	-0,528	-0,523	-0,411	-0,381	-0,250	-0,359	-0,390	-0,372	-0,220	-0,360	-0,604	-0,174	-0,381
1892	-0,449	-0,163	-0,471	-0,515	-0,452	-0,462	-0,547	-0,464	-0,367	-0,487	-0,649	-0,818	-0,487
1893	-0,972	-0,750	-0,415	-0,589	-0,607	-0,488	-0,301	-0,330	-0,462	-0,329	-0,463	-0,368	-0,506
1894	-0,463	-0,437	-0,409	-0,431	-0,474	-0,508	-0,355	-0,382	-0,501	-0,492	-0,456	-0,427	-0,445
1895	-0,503	-0,731	-0,564	-0,451	-0,442	-0,361	-0,393	-0,293	-0,258	-0,386	-0,323	-0,351	-0,421
1896	-0,242	-0,235	-0,401	-0,359	-0,248	-0,145	-0,145	-0,112	-0,144	-0,154	-0,290	-0,071	-0,212
1897	-0,263	-0,161	-0,311	-0,092	-0,075	-0,189	-0,190	-0,192	-0,174	-0,303	-0,494	-0,495	-0,245
1898	-0,137	-0,398	-0,738	-0,587	-0,483	-0,332	-0,404	-0,349	-0,347	-0,576	-0,476	-0,395	-0,435
1899	-0,233	-0,528	-0,571	-0,360	-0,338	-0,407	-0,326	-0,188	-0,183	-0,222	0,018	-0,462	-0,317
1900	-0,252	-0,208	-0,311	-0,269	-0,278	-0,185	-0,214	-0,227	-0,246	-0,105	-0,297	-0,106	-0,225
1901	-0,206	-0,305	-0,307	-0,250	-0,233	-0,203	-0,217	-0,239	-0,386	-0,348	-0,461	-0,478	-0,303
1902	-0,256	-0,316	-0,424	-0,483	-0,430	-0,485	-0,429	-0,402	-0,402	-0,499	-0,533	-0,537	-0,433
1903	-0,289	-0,196	-0,376	-0,495	-0,504	-0,594	-0,500	-0,635	-0,576	-0,676	-0,623	-0,659	-0,510
1904	-0,705	-0,645	-0,665	-0,580	-0,584	-0,562	-0,575	-0,520	-0,497	-0,504	-0,400	-0,427	-0,555
1905	-0,512	-0,714	-0,498	-0,576	-0,384	-0,367	-0,325	-0,319	-0,338	-0,394	-0,270	-0,251	-0,412
1906	-0,146	-0,271	-0,321	-0,151	-0,373	-0,340	-0,354	-0,362	-0,390	-0,406	-0,506	-0,341	-0,330
1907	-0,463	-0,539	-0,375	-0,540	-0,605	-0,574	-0,429	-0,501	-0,457	-0,418	-0,614	-0,569	-0,507
1908	-0,478	-0,488	-0,654	-0,572	-0,541	-0,519	-0,544	-0,553	-0,485	-0,631	-0,629	-0,611	-0,559
1909	-0,595	-0,600	-0,703	-0,658	-0,624	-0,550	-0,608	-0,379	-0,382	-0,511	-0,475	-0,691	-0,565
1910	-0,412	-0,596	-0,481	-0,484	-0,553	-0,560	-0,482	-0,507	-0,496	-0,553	-0,716	-0,726	-0,547
1911	-0,589	-0,774	-0,719	-0,741	-0,640	-0,585	-0,544	-0,534	-0,524	-0,523	-0,450	-0,358	-0,582
1912	-0,400	-0,393	-0,434	-0,388	-0,425	-0,371	-0,497	-0,594	-0,600	-0,695	-0,568	-0,533	-0,492
1913	-0,533	-0,569	-0,594	-0,508	-0,558	-0,554	-0,504	-0,440	-0,476	-0,495	-0,335	-0,305	-0,489
1914	-0,134	-0,315	-0,395	-0,433	-0,334	-0,330	-0,390	-0,269	-0,315	-0,223	-0,228	-0,301	-0,306
1915	-0,175	-0,107	-0,258	-0,116	-0,279	-0,299	-0,169	-0,141	-0,199	-0,312	-0,192	-0,326	-0,214
1916	-0,287	-0,236	-0,452	-0,385	-0,420	-0,536	-0,423	-0,397	-0,388	-0,434	-0,613	-0,651	-0,435
1917	-0,705	-0,769	-0,859	-0,544	-0,698	-0,381	-0,170	-0,251	-0,164	-0,442	-0,442	-0,661	-0,507
1918	-0,553	-0,582	-0,479	-0,546	-0,473	-0,361	-0,379	-0,421	-0,326	-0,177	-0,120	-0,242	-0,388
1919	-0,176	-0,102	-0,360	-0,182	-0,325	-0,288	-0,381	-0,393	-0,279	-0,368	-0,610	-0,494	-0,330
1920	-0,337	-0,538	-0,182	-0,333	-0,250	-0,259	-0,354	-0,298	-0,215	-0,298	-0,327	-0,374	-0,314
1921	-0,220	-0,280	-0,329	-0,291	-0,226	-0,166	-0,193	-0,336	-0,208	-0,202	-0,394	-0,280	-0,260
1922	-0,449	-0,378	-0,372	-0,337	-0,445	-0,386	-0,325	-0,381	-0,366	-0,395	-0,374	-0,383	-0,382
1923	-0,305	-0,486	-0,459	-0,440	-0,362	-0,297	-0,455	-0,430	-0,393	-0,370	-0,099	-0,070	-0,347
1924	-0,361	-0,244	-0,339	-0,351	-0,324	-0,313	-0,364	-0,302	-0,383	-0,339	-0,412	-0,607	-0,362
1925	-0,487	-0,331	-0,270	-0,314	-0,323	-0,309	-0,269	-0,181	-0,227	-0,374	-0,147	-0,059	-0,274
1926	0,004	-0,128	-0,076	-0,221	-0,239	-0,153	-0,317	-0,094	-0,153	-0,145	-0,175	-0,242	-0,162
1927	-0,285	-0,216	-0,360	-0,289	-0,279	-0,253	-0,202	-0,186	-0,172	-0,098	-0,264	-0,448	-0,254
1928	-0,147	-0,233	-0,409	-0,306	-0,292	-0,376	-0,195	-0,220	-0,261	-0,194	-0,174	-0,254	-0,255
1929	-0,452	-0,676	-0,465	-0,387	-0,414	-0,368	-0,401	-0,232	-0,309	-0,208	-0,118	-0,487	-0,376
1930	-0,376	-0,255	-0,185	-0,208	-0,217	-0,197	-0,176	-0,084	-0,093	-0,093	0,028	-0,116	-0,164
1931	-0,036	-0,186	-0,141	-0,193	-0,214	-0,082	-0,038	-0,088	-0,083	-0,072	-0,193	-0,143	-0,122
1932	0,100	-0,195	-0,244	-0,129	-0,200	-0,204	-0,143	-0,210	-0,058	-0,137	-0,224	-0,216	-0,155
1933	-0,294	-0,354	-0,360	-0,265	-0,246	-0,275	-0,228	-0,205	-0,254	-0,217	-0,326	-0,539	-0,297
1934	-0,257	-0,232	-0,422	-0,275	-0,136	-0,052	-0,071	-0,058	-0,102	-0,112	-0,016	-0,177	-0,159
1935	-0,225	0,042	-0,247	-0,264	-0,239	-0,185	-0,137	-0,157	-0,142	-0,084	-0,290	-0,269	-0,183
1936	-0,285	-0,336	-0,288	-0,228	-0,159	-0,165	-0,033	-0,043	-0,105	-0,017	-0,105	-0,056	-0,152
1937	-0,175	-0,007	-0,251	-0,134	-0,112	-0,013	0,061	0,098	0,118	0,118	-0,013	-0,095	-0,034
1938	0,002	0,044	0,073	0,070	-0,079	-0,023	-0,016	0,053	0,090	0,154	0,019	-0,278	0,009
1939	-0,067	-0,063	-0,223	-0,063	-0,004	0,105	0,103	0,089	-0,007	-0,189	-0,018	0,345	0,001
1940	-0,190	-0,052	-0,095	0,049	0,035	0,016	0,138	0,054	0,150	0,017	-0,063	0,177	0,020
1941	-0,040	0,066	-0,049	0,159	-0,012	0,167	0,180	0,102	-0,085	0,271	0,117	0,055	0,078
1942	0,215	-0,084	-0,052	-0,072	0,026	0,049	-0,087	-0,055	-0,045	-0,068	-0,110	-0,094	-0,031
1943	-0,212	-0,022	-0,228	-0,056	-0,005	-0,110	0,006	-0,066	-0,029	0,221	0,005	0,154	-0,029
1944	0,240	0,111	0,109	-0,011	0,049	0,147	0,220	0,226	0,232	0,190	-0,011	-0,049	0,121
1945	-0,027	-0,075	-0,060	0,116	-0,174	-0,004	-0,091	0,352	0,111	0,092	-0,056	-0,269	-0,007
1946	-0,005	-0,045	-0,233	-0,055	-0,266	-0,374	-0,172	-0,283	-0,125	-0,164	-0,241	-0,480	-0,204
1947	-0,242	-0,299	-0,226	-0,091	-0,228	-0,138	-0,143	-0,189	-0,246	-0,114	-0,140	-0,318	-0,198
1948	-0,070	-0,281	-0,332	-0,207	-0,078	-0,085	-0,256	-0,166	-0,214	-0,152	-0,261	-0,346	-0,204
1949	-0,003	-0,258	-0,308	-0,173	-0,186	-0,316	-0,212	-0,166	-0,199	-0,190	-0,195	-0,324	-0,211
1950	-0,486	-0,365	-0,320	-0,299	-0,228	-0,221	-0,187	-0,237	-0,231	-0,266	-0,519	-0,364	-0,310
1951	-0,457	-0,563	-0,396	-0,227	-0,139	-0,061	-0,064	0,031	-0,022	-0,030	-0,149	0,049	-0,169
1952	0,069	0,026	-0,215	-0,069	-0,088	-0,089	-0,036	-0,030	0,012	-0,090	-0,279	-0,128	-0,076
1953	-0,043	0,031	0,019	0,060	-0,008	0,015	-0,071	-0,032	-0,040	-0,044	-0,184	-0,047	-0,029
1954	-0,347	-0,182	-0,256	-0,310	-0,343	-0,251	-0,321	-0,205	-0,198	-0,163	-0,101	-0,350	-0,252

1955	-0,012	-0,246	-0,476	-0,354	-0,340	-0,270	-0,288	-0,159	-0,206	-0,245	-0,385	-0,403	-0,282
1956	-0,344	-0,428	-0,396	-0,411	-0,372	-0,317	-0,298	-0,316	-0,347	-0,293	-0,335	-0,319	-0,348
1957	-0,263	-0,208	-0,220	-0,138	-0,020	0,009	-0,072	0,020	-0,029	-0,083	0,003	0,099	-0,075
1958	0,224	0,126	-0,036	-0,038	-0,046	-0,065	-0,038	-0,061	-0,116	-0,032	-0,040	-0,010	-0,011
1959	0,011	-0,041	-0,022	-0,041	-0,099	-0,013	-0,086	-0,043	-0,041	-0,114	-0,234	-0,153	-0,073
1960	-0,107	0,056	-0,381	-0,245	-0,240	-0,115	-0,110	-0,069	-0,026	-0,095	-0,212	0,048	-0,125
1961	-0,003	0,098	0,011	-0,003	0,032	0,054	-0,060	0,015	-0,087	-0,079	-0,094	-0,167	-0,024
1962	-0,027	0,079	-0,042	-0,067	-0,107	-0,050	0,004	-0,024	-0,003	0,020	-0,027	-0,019	-0,022
1963	-0,106	0,119	-0,148	-0,116	-0,053	-0,068	0,070	0,087	0,057	0,138	0,064	-0,026	0,001
1964	-0,103	-0,251	-0,347	-0,314	-0,254	-0,228	-0,235	-0,321	-0,362	-0,334	-0,346	-0,454	-0,296
1965	-0,193	-0,319	-0,302	-0,323	-0,220	-0,182	-0,243	-0,199	-0,180	-0,097	-0,200	-0,135	-0,216
1966	-0,167	-0,127	-0,126	-0,176	-0,219	-0,070	-0,048	-0,111	-0,104	-0,172	-0,185	-0,272	-0,148
1967	-0,221	-0,293	-0,161	-0,131	-0,012	-0,162	-0,150	-0,112	-0,159	-0,013	-0,164	-0,216	-0,149
1968	-0,300	-0,296	-0,041	-0,232	-0,259	-0,133	-0,123	-0,100	-0,135	-0,072	-0,085	-0,132	-0,159
1969	-0,240	-0,162	-0,005	0,087	0,067	-0,029	-0,025	0,002	-0,019	-0,012	0,076	0,129	-0,011
1970	0,029	0,108	-0,116	0,026	-0,077	-0,073	-0,103	-0,124	-0,097	-0,107	-0,094	-0,184	-0,068
1971	-0,093	-0,302	-0,306	-0,245	-0,220	-0,247	-0,132	-0,170	-0,127	-0,161	-0,068	-0,212	-0,190
1972	-0,371	-0,317	-0,141	-0,066	-0,056	0,022	-0,021	0,024	-0,040	0,021	0,054	0,197	-0,058
1973	0,175	0,278	0,247	0,165	0,126	0,109	0,019	0,007	-0,033	-0,017	-0,077	-0,078	0,077
1974	-0,390	-0,406	-0,258	-0,186	-0,180	-0,148	-0,129	-0,093	-0,161	-0,197	-0,184	-0,245	-0,215
1975	-0,098	-0,119	-0,062	-0,092	-0,099	-0,110	-0,139	-0,202	-0,166	-0,257	-0,344	-0,353	-0,170
1976	-0,266	-0,333	-0,470	-0,227	-0,329	-0,284	-0,202	-0,202	-0,169	-0,304	-0,177	-0,097	-0,255
1977	-0,134	0,075	0,109	0,060	0,045	0,078	0,021	-0,028	0,016	-0,019	-0,096	-0,110	0,017
1978	0,014	-0,001	0,007	-0,067	-0,105	-0,127	-0,067	-0,189	-0,059	-0,124	0,019	-0,076	-0,065
1979	-0,029	-0,105	0,031	-0,047	-0,047	0,028	0,038	0,067	0,083	0,106	0,135	0,330	0,049
1980	0,106	0,172	0,055	0,133	0,119	0,062	0,055	0,009	0,015	-0,016	0,157	0,048	0,076
1981	0,260	0,164	0,200	0,097	0,069	0,117	0,097	0,111	0,080	-0,014	0,025	0,238	0,120
1982	-0,028	-0,033	-0,123	0,024	0,041	-0,047	-0,021	-0,022	0,059	0,024	0,016	0,230	0,010
1983	0,386	0,315	0,180	0,116	0,115	0,126	0,130	0,184	0,160	0,090	0,235	0,082	0,177
1984	0,088	0,011	0,053	-0,022	0,072	-0,025	-0,039	0,041	0,036	-0,048	-0,122	-0,294	-0,021
1985	0,019	-0,145	-0,027	-0,053	-0,008	-0,057	-0,056	0,015	-0,042	-0,010	-0,103	0,007	-0,038
1986	0,115	0,082	0,048	0,037	0,018	0,044	-0,007	-0,007	0,014	0,045	-0,044	0,010	0,030
1987	0,118	0,267	0,020	0,069	0,135	0,122	0,255	0,220	0,256	0,174	0,188	0,326	0,179
1988	0,348	0,201	0,257	0,241	0,179	0,207	0,164	0,158	0,158	0,124	0,018	0,104	0,180
1989	-0,002	0,094	0,080	0,081	0,051	0,067	0,163	0,174	0,135	0,145	0,052	0,188	0,102
1990	0,198	0,245	0,467	0,303	0,242	0,235	0,208	0,226	0,166	0,284	0,285	0,196	0,255
1991	0,229	0,283	0,176	0,317	0,254	0,287	0,292	0,240	0,182	0,135	0,077	0,079	0,213
1992	0,282	0,251	0,208	0,120	0,110	0,108	-0,021	-0,017	-0,093	-0,080	-0,119	-0,007	0,062
1993	0,217	0,166	0,209	0,104	0,153	0,131	0,080	0,060	0,018	0,061	-0,032	0,103	0,106
1994	0,157	-0,090	0,181	0,173	0,244	0,213	0,152	0,171	0,158	0,238	0,247	0,217	0,172
1995	0,359	0,468	0,293	0,230	0,171	0,288	0,299	0,317	0,206	0,244	0,276	0,151	0,275
1996	0,065	0,254	0,134	0,095	0,167	0,148	0,182	0,185	0,090	0,083	0,072	0,170	0,137
1997	0,150	0,251	0,265	0,198	0,241	0,379	0,372	0,411	0,459	0,496	0,468	0,533	0,352
1998	0,492	0,756	0,548	0,647	0,596	0,606	0,671	0,647	0,393	0,420	0,351	0,444	0,548
1999	0,370	0,552	0,294	0,315	0,233	0,263	0,270	0,236	0,267	0,228	0,210	0,327	0,297
2000	0,206	0,361	0,331	0,450	0,241	0,234	0,255	0,339	0,320	0,194	0,150	0,164	0,271
2001	0,324	0,286	0,487	0,430	0,390	0,413	0,453	0,506	0,404	0,378	0,506	0,321	0,408
2002	0,598	0,611	0,609	0,445	0,443	0,474	0,479	0,427	0,412	0,358	0,393	0,328	0,465
2003	0,525	0,441	0,425	0,417	0,437	0,442	0,455	0,525	0,520	0,566	0,428	0,523	0,475
2004	0,504	0,571	0,510	0,494	0,323	0,347	0,369	0,416	0,446	0,478	0,526	0,376	0,447
2005	0,461	0,380	0,499	0,534	0,481	0,512	0,536	0,509	0,513	0,508	0,483	0,370	0,482
2006	0,319	0,448	0,380	0,370	0,338	0,438	0,444	0,493	0,422	0,480	0,445	0,523	0,425
2007	0,610	0,509	0,438	0,472	0,373	0,384	0,407	0,364	0,412	0,367	0,269	0,215	0,402
2008	0,053	0,192	0,449	0,271	0,278	0,308	0,417	0,395	0,376	0,443	0,393	0,327	0,325
2009	0,387	0,374	0,374	0,417	0,407	0,508	0,515	0,544	0,473	0,442	0,448	0,427	0,443
2010	0,489	0,481	0,583	0,571	0,516	0,541	0,542	0,485	0,396	0,404	0,464	0,267	0,478
2011	0,194	0,259	0,322	0,408	0,329	0,431	0,466	0,445	0,368	0,358	0,258	0,249	0,340
2012	0,206	0,186	0,291	0,499	0,484	0,483	0,448	0,513	0,516	0,499	0,485	0,230	0,403
2013	0,392	0,436	0,392	0,403	0,480	0,430	0,482	0,491	0,520	0,442	0,553	0,459	0,457
2014	0,472	0,264	0,491	0,592	0,539								0,472

## G.2. TEMPERATURA SUPERFICIAL DO AR GLOBAL – BEST

- Nome da série: BEST;
- Fonte/referência: Berkeley Earth (2017)<sup>329</sup>;

<sup>329</sup> Disponível em: <https://web.archive.org/web/20170615092802/http://berkeleyearth.lbl.gov/regions/brazil> – Especificamente no link direto: <https://web.archive.org/web/20170615092802/http://berkeleyearth.lbl.gov/auto/Regional/TAVG/Text/brazil-TAVG-Trend.txt> – OBS: essa versão arquivada estava disponível no site do BEST até 2017. Depois dessa data, uma nova série está disponível em: <http://berkeleyearth.lbl.gov/regions/brazil> – No entanto, diferente da versão anterior, a versão atual apresenta falhas/ausência de dados antes de 1890. Cópias dos arquivos de dados também estão disponíveis em: [http://bit.ly/tese\\_oliveira\\_2021](http://bit.ly/tese_oliveira_2021)

- **Resolução temporal:** mensal;
- **Período de dados disponível na Fonte:** jan/1832 a ago/2013;
- **Período de dados utilizado nas análises:** jan/1850 a dez/2011;
- **Desvios/anomalias de temperatura<sup>330</sup>:** relativos à média do período jan/1951 a dez/1980; e
- **TABELA DOS DADOS BRUTOS<sup>331</sup>:**

ANO/MÊS	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANO
1832	-0,575	-1,005	-0,793	-0,720	-1,036	-0,606	-0,456	-1,809	-1,910	-0,902	-1,366	-1,689	-1,072
1833	-0,043	-0,058	-0,989	-0,428	-0,909	-0,529	-0,556	-0,726	-0,834	-1,163	1,102	0,177	-0,413
1834	-1,712	-0,514	-0,060	-0,526	0,008	-1,121	-0,180	-0,982	-0,760	-1,039	-0,168	0,045	-0,584
1835	0,351	-0,239	-1,590	-1,056	-1,587	-1,555	-1,019	-1,659	-2,632	-1,611	-1,970	-2,153	-1,393
1836	-0,507	-0,625	-0,206	-1,365	-1,635	-1,061	-0,313	-1,193	-1,905	-0,926	-1,812	-0,568	-1,010
1837	-0,261	-0,712	-2,094	-2,109	-1,572	-1,664	-0,883	-1,077	-1,520	-1,577	-1,539	-0,855	-1,322
1838	-2,714	-1,648	-1,917	-1,135	-1,723	-0,799	0,088	-0,926	-1,267	-0,744	-1,125	-0,537	-1,204
1839	-0,424	0,036	-2,640	-0,497	-1,117	-0,970	-0,275	-0,427	-1,709	-1,434	-2,016	-2,049	-1,127
1840	0,024	-0,839	-1,945	-0,683	-0,328	-0,314	0,182	-1,260	-1,235	-1,231	-1,477	-0,893	-0,833
1841	-1,379	-0,987	-1,563	-1,160	-0,773	-0,704	0,012	-0,627	-1,514	-0,897	-1,203	-1,173	-0,997
1842	-0,544	-0,339	0,451	0,039	-0,903	-0,645	-0,454	-0,869	-1,889	-1,229	-1,059	0,120	-0,610
1843	0,474	0,730	-0,670	-0,662	-0,908	-1,103	-0,775	-0,681	-1,024	-0,881	-0,891	0,512	-0,490
1844													
1845	0,061	-1,234	-0,723	-0,524	-0,918	-0,894	-0,197	-0,645	-1,077				-0,683
1846	0,956	0,305	0,828	-0,912	-0,439	0,116	0,442	-0,134	-0,818	-1,098	-0,759	0,183	-0,111
1847	0,057	0,079	-1,545	-0,664	-1,133	-0,967	-0,192	-0,775	-0,890	-0,866	-0,305	-1,608	-0,734
1848	-1,729	0,379	-0,849	-0,424	-1,092	-0,698	-0,085	-0,906	-1,378	-0,659	-0,822	-0,951	-0,768
1849	-0,195	-0,371	-0,065	-1,305	-1,392	-0,613	-0,082	-0,648	-1,228	-0,517	-0,373	-1,658	-0,704
1850	-1,448	0,029	-0,543	-1,018	-1,412	-0,550		-0,374	-0,919	-1,152	-1,116	-0,907	-0,855
1851	-0,096	-0,450	-1,176	-0,706	-0,593	-0,484	0,187	-0,477	-0,978	-0,547	-1,078	-0,664	-0,589
1852	-0,313	-0,743	-1,079	-0,645	-0,188	-0,431	0,020	-0,877	-0,917	-0,732	-1,012	0,066	-0,571
1853	-0,571	-1,138	-1,171	-0,465	-0,582	-0,398	0,224	-0,117	-0,519	-0,686	-0,731	-0,573	-0,561
1854	-1,236	-1,037	-0,771	-0,352	-0,390	-0,548	0,218	-0,323	-0,652	0,309	-0,444	-0,363	-0,466
1855	0,334	-0,080	-0,428	0,279	-0,093	-0,341	-0,283	-0,375	-0,980	-0,805	-0,779	-1,728	-0,440
1856	-0,584	-1,312	-1,263	-0,484	-0,919	-0,348	-0,548	-1,142	-1,511	-1,458	-1,022	-0,996	-0,966
1857	-0,868	-0,861	-1,041	-1,734	-1,326	-0,870	-0,239	-1,034	-1,239	-1,040	-0,457	-0,297	-0,917
1858	-0,303	-0,884	-0,684	-0,313	-0,453	-1,049	-1,031	-1,031	-1,700	-1,281	-0,726	-1,831	-0,941
1859	-1,016	-0,890	-0,087	0,473	-0,141	-0,477	-0,611	-1,041	-1,127	-0,374	-0,601	-0,862	-0,563
1860	-0,525	-0,804	-1,486	-0,380	-0,497	-0,130	0,178	0,402	0,106	-0,129	-1,110	-1,752	-0,511
1861	-1,781	-0,860	-0,859	-0,309	-0,722	-0,842	-0,816	-0,090	-0,856	-1,060	-0,701	-1,053	-0,829
1862	-1,694	-1,405	-0,848	-0,612	-0,150	-0,544	-0,765	-1,214	-1,476	-0,771	-1,081	-1,519	-1,007
1863	0,255	-0,390	-0,924	-0,225	-0,629	-0,509	-0,594	-1,134	-1,451	-1,208	-1,095	-0,944	-0,737
1864	-1,106	-0,976	-1,062	-0,711	-0,328	-0,410	-0,325	-0,930	-0,807	-0,733	-0,962	-1,243	-0,799
1865	0,009	-1,366	-1,494	-0,849	-0,550	-0,342	-0,284	-0,660	-0,871	-0,512	-0,357	-1,122	-0,700
1866	-0,090	-1,335	-1,264	-0,593	-0,403	-0,913	0,123	-0,442	-0,554	-1,000	-0,453	-0,182	-0,592
1867	-0,777	-0,834	-1,048	-0,200	-0,585	-0,264	-0,232	-0,393	-0,566	-0,471	0,100	0,019	-0,438
1868	-0,522	-1,121	-0,665	-0,485	-0,124	-0,008	0,376	-0,106	-0,400	0,105	-0,593	-0,302	-0,320
1869	-0,156	0,238	-0,783	-0,026	0,440	0,217	0,060	-0,240	-0,172	-0,448	-0,416	-0,916	-0,184
1870	-0,530	-0,792	-0,706	-0,417	0,036	0,162	0,275	-0,555	-0,552	-0,013	-0,526	-1,032	-0,388
1871	-0,742	-1,010	-0,332	0,006	-0,478	-0,496	-0,308	-0,222	-0,583	-0,197	-0,895	-0,676	-0,494
1872	-0,463	-0,537	-0,365	-0,667	-0,497	-0,707	-0,347	-0,261	-0,123	-0,276	-0,713	-0,985	-0,495
1873	-0,193	-0,139	-0,765	-0,461	0,493	0,299	-0,014	0,003	-0,483	-0,247	-0,578	-0,184	-0,189
1874	-0,373	-0,486	-0,927	-0,264	-0,501	-0,416	-0,373	-0,533	-0,307	-0,465	-0,993	-0,928	-0,547
1875	-1,135	-0,983	-1,423	-0,866	-0,753	-1,005	-0,680	-1,204	-1,112	-0,910	-1,484	-0,656	-1,018
1876	-0,654	-0,815	-0,538	-0,473	-0,400	-0,788	-0,129	-0,952	-0,666	-0,547	-1,120	-1,496	-0,715
1877	-0,526	-0,256	0,246	0,142	-0,271	-0,195	0,742	-0,144	-0,117	0,131	-0,156	-0,677	-0,090
1878	-0,509	0,530	1,346	0,890	-0,633	0,196	0,380	-0,342	-0,175	-0,221	0,071	-0,577	0,080
1879	-0,590	-0,588	-0,682	-0,748	-0,876	-0,875	-0,145	-1,209	-1,250	-0,450	-0,721	-1,270	-0,784
1880	-1,018	-1,099	-0,761	-0,823	-0,255	-0,102	0,087	0,136	-1,165	-0,879	-0,583	-0,599	-0,588
1881	-0,445	-0,766	-0,119	-0,231	-0,284	-0,748	-0,367	-0,794	-0,318	-0,356	-1,024	-0,501	-0,496
1882	-0,192	-0,548	-0,603	-0,865	-0,554	-1,012	-1,059	-0,603	-0,937	-0,708	-1,321	-1,928	-0,861
1883	-1,314	-1,226	-0,388	-0,766	-0,582	-0,434	-0,548	-1,287	-1,058	-0,523	-1,229	-0,747	-0,842
1884	-1,176	-1,084	-1,157	-1,043	-1,287	-1,157	-0,611	-0,046	-1,139	-1,024	-0,946	-0,930	-0,967
1885	-1,404	-1,035	-1,179	-0,493	-0,330	-0,892	-0,151	-0,778	-0,517	-0,517	-0,273	0,135	-0,620
1886	-0,723	-1,544	-0,795	-0,413	-1,118	-1,359	-0,874	-1,233	-0,691	-0,819	-0,862	-0,624	-0,921
1887	-1,470	-1,008	-1,126	-0,651	-0,711	-0,471	-0,535	-0,189	-0,514	-0,310	-0,609	-0,226	-0,652
1888	-1,038	-0,856	-0,944	-0,709	-0,806	-0,758	-0,202	-0,358	0,317	0,587	0,179	0,018	-0,381
1889	-0,027	0,358	0,318	0,344	0,136	-1,066	-0,173	-0,956	-1,153	-0,563	-0,702	-0,018	-0,292
1890	-1,049	-0,859	-0,923	-0,949	-1,114	-1,366	-0,382	-1,029	-0,550	-0,534	-0,847	-0,602	-0,850
1891	-1,169	-0,969	-0,663	-0,518	-0,640	-0,470	-0,654	-0,726	-0,536	-0,460	-0,628	-0,568	-0,667

<sup>330</sup> Conforme indicado pela fonte original.

<sup>331</sup> Os dados foram adaptados para caber nessa tabela, bem como tiveram os fundos coloridos para destacar desvios negativos (tons verdes), desvios próximos de zero (tons amarelos) e desvios positivos (tons alaranjados/vermelhos).



1892	-0,364	-0,409	-0,511	-0,610	-1,031	-0,842	-1,063	-1,050	-0,805	-0,556	-1,052	-1,072	-0,780
1893	-1,423	-1,636	-0,916	-0,740	-0,978	-1,132	-0,475	-1,275	-1,325	-0,786	-1,067	-0,490	-1,020
1894	-0,312	-0,272	-0,457	-0,787	-0,624	-1,620	-0,817	-0,725	-0,562	-0,002	-0,446	-0,553	-0,598
1895	-0,811	-1,064	-0,459	-0,091	-0,420	-0,535	-0,481	-0,217	-0,640	-0,304	-0,616	0,076	-0,464
1896	-0,678	-0,338	-0,728	-0,779	-0,629	-0,711	-0,205	-0,034	0,065	-0,081	-0,136	0,135	-0,343
1897	-0,284	-0,523	-0,394	0,361	0,231	-0,939	-1,233	-0,820	-1,013	-0,142	-0,800	-0,001	-0,463
1898	0,155	-0,375	-0,660	-0,292	-0,714	-0,161	-0,356	-0,802	-1,123	-0,878	-0,693	-0,884	-0,565
1899	-0,506	-1,197	-0,654	-0,085	-0,106	-1,242	-0,498	-0,058	-0,576	-0,460	-0,006	-0,417	-0,484
1900	-0,424	-0,251	0,425	-0,108	0,233	-0,012	0,380	-0,237	-0,173	0,179	-0,180	-0,144	-0,026
1901	-0,366	-0,069	-0,201	-0,365	-0,345	-0,123	0,580	0,270	0,162	0,160	-0,504	-1,038	-0,153
1902	-0,576	-0,517	-0,754	-0,312	0,252	0,473	0,331	-0,889	-0,091	-0,447	-0,022	-0,088	-0,220
1903	-0,312	-0,019	-0,043	-0,311	-0,563	0,088	-0,118	-0,549	-0,616	-0,599	-0,680	-0,553	-0,356
1904	-0,984	-0,970	-0,836	-0,702	-1,136	-1,058	-0,656	-1,135	-1,004	-1,166	-0,761	-0,816	-0,935
1905	-0,777	-0,802	-0,774	-0,473	0,515	0,401	-0,008	-0,315	-0,311	0,467	0,040	-0,257	-0,191
1906	-0,635	-0,643	-0,645	-0,400	0,069	-0,662	-0,242	-0,256	-0,713	-0,312	-0,190	-0,352	-0,415
1907	-0,724	-0,705	-0,358	-0,361	-0,694	-0,395	-1,192	-1,095	-0,234	-0,426	-0,423	-0,475	-0,590
1908	-0,352	-0,295	-0,523	-0,162	-0,376	-0,236	0,117	-1,233	-0,083	-0,910	-0,794	-0,102	-0,412
1909	-0,382	-0,200	-0,421	-0,277	-1,225	-0,454	-0,527	-0,723	-0,364	-0,743	-0,357	-0,636	-0,526
1910	-0,537	-0,420	-0,725	-0,105	-0,972	-0,126	-0,345	-0,281	-0,349	-0,740	-0,810	-0,743	-0,513
1911	-0,927	-0,484	-1,179	-0,471	-0,539	-0,824	-0,925	-0,736	-0,600	-0,604	-0,147	-0,265	-0,642
1912	-0,213	-0,272	-0,570	0,009	0,152	0,015	-1,091	-0,395	-1,121	-0,623	-0,546	-0,785	-0,453
1913	-0,647	-0,756	-0,279	0,048	-0,449	-0,316	-0,060	-0,550	-0,522	-0,179	-0,003	-0,309	-0,335
1914	-0,035	-0,332	-0,036	-0,047	-0,366	0,580	0,509	-0,680	0,023	0,006	-0,056	-0,057	-0,032
1915	0,100	0,431	0,634	1,078	1,293	-0,498	0,000	0,240	-0,105	0,096	-0,528	-0,488	0,188
1916	-0,554	-0,520	-0,649	-0,031	-0,025	-1,023	-0,858	-0,517	0,415	-0,456	-0,547	-1,089	-0,488
1917	-1,135	-1,356	-0,832	-0,850	-1,838	-1,364	-1,041	-1,399	-0,786	-1,088	-0,809	-1,102	-1,133
1918	-1,055	-1,169	-0,849	-0,455	-0,225	-0,510	-0,720	-0,882	-0,487	-0,386	-0,274	-0,444	-0,621
1919	-0,167	0,021	0,070	0,464	0,664	0,200	-0,002	-1,151	-0,349	-0,072	-0,335	-0,472	-0,094
1920	-0,223	-0,265	-0,335	-0,006	-0,585	-0,748	-0,824	-1,179	-0,717	-0,204	-0,415	-0,750	-0,521
1921	-0,613	-0,535	-0,407	-0,588	-0,116	-1,733	-1,565	-0,239	-0,686	-0,435	-0,746	-0,192	-0,655
1922	-0,289	-0,308	-0,327	-0,038	-0,332	-0,486	-0,550	-0,204	-0,316	-0,933	-0,646	-0,737	-0,431
1923	-0,758	-0,660	-0,507	-0,217	-0,912	-0,402	-1,259	-0,564	-0,517	-0,574	-0,517	0,013	-0,573
1924	-0,118	-0,378	0,046	0,073	-0,441	-0,284	-0,532	-1,519	-0,621	-1,104	-0,448	-0,666	-0,499
1925	-0,792	-0,639	-0,624	0,350	-0,084	-0,740	-0,619	-0,034	-0,556	-0,637	-0,350	0,007	-0,393
1926	0,067	0,177	0,286	0,194	-0,224	0,491	-0,682	-0,152	0,398	0,143	0,394	-0,159	0,078
1927	-0,082	-0,356	-0,107	-0,050	-0,400	-0,753	-0,860	-0,354	-0,261	0,019	0,328	0,128	-0,229
1928	-0,055	0,277	0,229	0,585	0,300	0,264	-0,231	-0,845	-0,346	-0,116	0,234	-0,199	0,008
1929	-0,010	-0,274	-0,331	-0,319	-0,810	-0,499	-0,383	-0,157	-0,106	0,010	-0,052	-0,507	-0,287
1930	-0,099	-0,230	0,141	-0,183	0,071	0,375	-0,212	-0,103	-0,396	-0,186	-0,236	0,014	-0,087
1931	0,450	0,152	0,089	0,416	-0,405	-0,530	-0,265	-0,642	-0,559	-0,101	-0,271	0,051	-0,135
1932	-0,465	0,045	-0,052	0,693	0,042	0,170	0,275	-0,503	-0,146	0,133	0,244	0,066	0,042
1933	-0,050	-0,068	-0,121	-0,268	-0,172	-0,797	-0,739	-0,302	-0,002	-0,290	-0,663	-0,348	-0,318
1934	-0,565	-0,626	-0,291	-0,112	-0,264	0,110	-0,342	-0,168	-0,312	-0,679	-0,042	-0,096	-0,282
1935	0,004	-0,165	0,190	-0,420	-0,616	0,279	0,186	-0,388	-0,408	0,202	-0,076	0,279	-0,078
1936	-0,194	-0,153	0,199	0,255	0,826	0,418	-0,023	-0,527	0,088	0,449	0,181	0,044	0,130
1937	0,071	0,291	0,217	-0,188	-0,431	0,327	0,239	0,614	0,082	-0,215	0,438	-0,012	0,119
1938	0,098	0,380	-0,038	-0,217	0,049	0,068	0,132	-0,364	0,009	-0,427	-0,116	-0,255	-0,057
1939	0,017	-0,342	0,087	0,032	0,678	0,511	-0,507	-0,253	-0,447	-0,039	0,132	0,120	-0,001
1940	-0,085	0,276	0,178	0,352	0,635	0,356	0,797	-0,168	-0,270	-0,088	-0,338	0,553	0,183
1941	0,411	0,507	0,269	1,096	0,507	-0,151	0,432	0,570	-1,036	0,137	0,152	0,291	0,265
1942	0,684	0,219	0,405	0,384	0,003	-0,620	-1,168	-0,060	0,100	-0,339	0,103	-0,332	-0,052
1943	-0,202	-0,119	-0,381	-0,599	0,049	0,050	-0,180	-1,341	-0,800	-0,092	-0,315	-0,539	-0,372
1944	-0,135	-0,095	0,043	-0,428	-0,182	0,206	-0,214	0,287	0,042	0,366	-0,203	-0,002	-0,026
1945	-0,004	-0,316	0,125	0,078	-1,013	-0,847	-0,116	0,705	-0,134	-0,355	-0,185	-0,415	-0,206
1946	-0,335	0,250	0,037	0,011	0,338	0,146	-0,137	0,035	0,165	0,041	0,134	-0,171	0,043
1947	0,127	0,188	-0,196	0,141	-0,014	0,412	-0,612	-0,523	-0,341	-0,681	-0,711	-0,611	-0,235
1948	-0,021	0,056	-0,369	-0,014	0,001	0,296	0,520	-0,459	-0,097	-0,317	-0,237	-0,288	-0,077
1949	-0,366	-0,459	0,347	-0,573	-0,469	0,325	-0,404	-0,651	-0,379	-0,713	-0,259	-0,167	-0,314
1950	-0,339	-0,187	-0,599	-0,216	0,018	-0,049	-0,206	-0,268	-0,403	-0,637	-0,245	-0,371	-0,292
1951	-0,392	-0,076	0,240	-0,751	-0,106	-0,262	-0,227	-0,345	0,100	0,140	0,124	-0,047	-0,134
1952	0,291	0,364	0,159	-0,442	-0,121	-0,676	0,053	0,156	-0,368	-0,113	-0,134	-0,119	-0,079
1953	0,094	0,162	0,098	-0,125	0,369	0,074	-0,834	0,520	0,365	-0,122	0,129	0,047	0,065
1954	0,059	0,135	-0,090	0,226	-0,083	0,274	-0,257	-0,138	0,331	-0,005	0,087	-0,105	0,036
1955	-0,224	-0,054	-0,074	-0,089	-0,229	0,200	-0,898	-0,108	0,223	-0,161	-0,190	-0,380	-0,165
1956	-0,162	-0,360	-0,059	-0,402	-0,659	-0,871	-0,137	-1,065	-0,118	-0,466	-0,668	-0,447	-0,451
1957	-0,651	-0,178	-0,253	-0,441	0,246	0,154	-0,571	0,022	-0,409	0,099	0,030	0,405	-0,129
1958	0,579	0,736	0,376	0,155	0,188	0,712	0,937	-0,420	0,192	-0,004	0,200	0,396	0,337
1959	0,213	0,237	-0,053	0,705	0,309	0,103	0,614	0,075	0,157	0,181	-0,172	0,348	0,226
1960	0,005	-0,070	-0,126	-0,222	-0,767	-0,150	-0,044	-0,397	-0,101	0,074	-0,192	-0,148	-0,178
1961	0,038	-0,216	0,140	0,437	0,319	-0,190	-0,043	0,603	0,813	0,313	0,490	-0,117	0,216
1962	0,019	0,179	0,087	-0,043	-0,220	-0,519	-0,751	-0,069	0,302	-0,420	0,261	0,112	-0,089
1963	0,145	-0,202	0,207	0,207	-0,252	-0,394	0,044	0,302	0,682	1,270	0,693	0,187	0,241
1964	0,176	0,188	-0,007	0,355	-0,223	-0,554	-0,547	0,188	-0,210	-0,685	-0,567	-0,475	-0,197
1965	-0,285	0,002	-0,707	-0,134	0,134	0,364	-0,005	0,205	0,392	0,127	0,171	0,372	0,053
1966	0,458	0,179	0,222	0,229	0,246	0,338	0,151	-0,331	-0,446	0,324	0,102	0,395	0,156
1967	0,084	-0,169	-0,220	-0,011	0,478	-0,210	0,070	0,434	0,460	0,274	-0,169	-0,027	0,083
1968	-0,062	-0,427	-0,356	-0,632	-1,196	-0,370	-0,053	-0,250	-0,584	0,047	0,352	-0,064	-0,300
1969	0,213	0,533	0,355	0,454	0,635	0,430	0,188	0,125	0,567	0,103	0,634	-0,014	0,352
1970	0,186	0,223	0,192	0,483	0,651	0,526	0,069	0,022	-0,026	0,208	0,009	0,580	0,260
1971	0,131	-0,394	-0,173	-0,391	-0,487	-0,428	-0,054	-0,236	-0,314	-0,912	-0,583	-0,027	-0,322
1972	-0,370	-0,364	0,007	-0,399	0,480	0,937	0,479	0,060	0,107	0,239	0,455	0,367	0,167
1973	0,767	0,647	0,552	0,907	0,167	0,932	0,140	-0,085	-0,343	-0,312	-0,208	-0,299	0,239

1974	-0,394	-0,244	-0,684	-0,305	-0,097	-0,241	-0,254	-0,156	-0,335	-0,543	-0,196	-0,743	-0,349
1975	-0,397	-0,269	-0,076	-0,227	-0,364	0,005	-0,737	-0,001	-0,088	-0,229	-0,383	-0,283	-0,254
1976	-0,188	-0,653	-0,543	-0,221	-0,008	-0,222	0,152	0,223	-0,489	-0,344	-0,317	0,068	-0,212
1977	-0,061	-0,117	0,397	0,129	-0,190	0,262	1,122	0,434	0,107	0,095	0,206	0,034	0,202
1978	0,061	0,374	0,078	0,045	-0,106	-0,104	0,715	-0,700	-0,225	0,119	0,072	-0,369	-0,003
1979	-0,308	-0,113	-0,036	0,022	0,172	-0,449	0,230	0,502	-0,436	0,364	-0,019	0,233	0,014
1980	-0,023	-0,053	0,349	0,479	0,711	0,331	0,446	0,429	-0,307	0,340	-0,218	0,122	0,217
1981	-0,075	0,096	0,253	0,467	0,636	-0,146	-0,611	0,188	-0,251	-0,302	0,188	0,188	0,053
1982	-0,131	0,093	0,158	0,072	0,169	0,766	0,936	0,389	0,021	0,205	0,624	0,292	0,300
1983	0,783	0,780	0,432	0,998	1,358	0,228	0,827	-0,002	-0,089	-0,254	0,010	-0,032	0,420
1984	0,168	0,399	0,312	-0,131	0,720	0,284	0,595	-0,407	-0,524	0,388	0,238	0,107	0,179
1985	-0,261	0,102	0,264	0,320	0,383	-0,494	-0,089	-0,106	-0,005	0,071	0,210	0,023	0,035
1986	0,044	0,074	-0,058	0,731	0,779	0,260	0,086	0,454	-0,315	-0,242	0,331	0,258	0,200
1987	0,377	0,449	0,209	0,935	0,479	0,388	1,559	0,280	0,457	0,959	0,762	0,737	0,633
1988	0,694	0,437	0,667	0,555	0,302	-0,209	-0,506	0,253	0,600	0,223	0,031	-0,089	0,247
1989	-0,242	-0,111	-0,069	0,358	-0,300	0,287	-0,366	0,116	-0,103	-0,186	0,203	-0,300	-0,059
1990	0,296	0,031	0,620	0,983	0,293	0,333	-0,214	0,119	-0,345	0,772	0,814	0,427	0,344
1991	0,128	0,494	0,296	0,523	0,656	0,600	0,153	-0,048	0,208	0,207	0,383	0,736	0,361
1992	0,505	0,170	0,331	0,822	1,251	1,197	-0,117	0,002	-0,440	0,195	-0,116	0,046	0,321
1993	0,369	-0,153	0,563	0,744	0,561	0,464	0,478	0,075	0,328	0,649	0,567	0,444	0,424
1994	0,069	0,315	0,146	0,594	1,046	0,376	0,376	0,269	0,717	0,873	0,759	0,746	0,524
1995	0,621	0,290	0,661	0,367	0,375	0,654	1,333	1,017	0,889	0,630	0,209	0,437	0,624
1996	0,304	0,615	0,313	0,616	0,572	-0,137	0,306	-0,651	0,295	0,463	0,137	0,749	0,407
1997	0,120	0,236	-0,148	0,228	0,238	0,675	0,912	0,422	1,309	1,261	1,201	1,089	0,629
1998	1,190	1,394	1,260	1,794	0,960	0,715	1,401	1,291	0,718	0,793	0,234	0,585	1,028
1999	0,413	0,481	0,385	0,384	-0,006	0,504	0,666	0,193	0,639	0,302	0,003	0,305	0,356
2000	0,143	-0,047	0,036	0,392	0,454	0,738	-0,260	0,560	-0,089	0,773	0,196	0,292	0,266
2001	0,040	0,371	0,472	1,110	0,680	-0,033	0,914	0,891	0,544	0,633	0,787	0,474	0,574
2002	0,327	0,358	0,901	1,171	1,203	0,712	1,084	1,224	0,438	1,336	0,863	0,817	0,870
2003	0,882	0,620	0,521	0,884	0,654	1,176	0,875	0,194	0,342	0,586	0,558	0,990	0,690
2004	0,447	0,074	0,486	1,106	0,156	0,490	0,469	0,504	0,844	0,623	0,766	0,823	0,566
2005	0,976	0,770	0,780	1,122	1,099	1,432	0,729	1,163	0,276	1,174	0,815	0,166	0,875
2006	0,675	0,550	0,624	0,480	-0,195	0,534	1,064	0,922	0,525	0,681	0,432	0,742	0,586
2007	0,899	0,516	0,702	1,040	0,359	0,848	0,769	0,357	1,069	1,069	0,755	0,463	0,737
2008	0,051	0,055	0,012	0,451	0,046	0,144	1,099	1,231	0,577	1,058	0,788	0,242	0,480
2009	0,348	0,286	0,620	0,550	0,512	0,096	0,945	0,924	1,070	0,807	1,431	0,448	0,670
2010	0,696	1,292	1,318	0,944	0,855	1,060	0,840	0,551	1,172	0,863	0,500	0,488	0,882
2011	0,127	0,149	0,087	0,603	0,391	0,705	0,970	1,015	0,903	0,404	0,167	0,456	0,498
2012	-0,111	0,143	0,373	0,965	0,731	1,048	0,741	0,799	1,258	1,500	0,963	1,025	0,786
2013	0,729	0,707	0,823	0,754	0,746	1,258	0,772	0,186					0,747

## VOLUME 2 – PARTE VI

APÊNDICE H

## MATERIAL:

## Códigos de Programação

H.1. *ARIST*

- **Nome do programa:** ARIST;
- **Fonte/referência**<sup>332</sup>: Rigozo e Nordemann (1998);
- **Linguagem de programação**<sup>333</sup>: C;
- **Sistema Operacional testado:** Windows 10, 64 bits; e
- **Código Fonte:**

```

/*      NTSIRA.C      */

#include <stdio.h>
#include <math.h>
#include <io.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>
int k, kmax, iter, itermax, x;
float **ts;
double a[3], A[3], sd[3], c[3][3], e[3][3], v[3], tmax, b;
double F0, Fa0, Fa1, Fa2, L, arg, omega, domega, omegamax, omegamin, delta, d,
S, sdI;
char s[20], u[20], ds[20], du[20], dataname[40], outputname[40], w[4];
char number[8], inifreq[11];
const double f2pi = 6.28318530718;

main ()
{
    int i;
    ts = malloc (4 * sizeof (float));
    for (i = 0; i < 2; i++)
    {
        ts[i] = malloc (30000 * sizeof (float));
    }
    /* Data input      */
    readfile ();

```

<sup>332</sup> Disponível para *download* em: [http://bit.ly/tese\\_oliveira\\_2021](http://bit.ly/tese_oliveira_2021) – OBS: Buscou-se contato com os referidos autores do programa, no entanto, não houve retorno. Em contato pessoal (*e-mail*) com a Profa. Dra. Caren Lorensi, que foi orientada por um dos autores do programa, foi concedido o arquivo executável original e o correspondente código fonte do *ARIST*. Revisado e adaptado pelo cientista da computação Nelson Antônio de Oliveira, o arquivo executável original – que somente é executado em *Windows* 32 bits – foi alterado para poder ser executado no *Windows* 10, 64 bits, ficando o arquivo disponível para *download* no citado *link*.

<sup>333</sup> Para facilitar a compreensão, usou-se um esquema de cores nos códigos de programação, conforme elaborado pelo programa *Notepad++*, plugin *Nppexport*.

```

/* Screen & output file header */
writehead ();

/* Pulsation value sweep */
omega = 0;

while ((omega += domega) < omegamax)
{
    /* Initial guess for parameters */
    a[0] = b / k;
    a[1] = omega;
    a[2] = 0.5 * f2pi;
    /* Iterations */
    iter = 1;
    do
    {
        recalc ();
        solve ();
        newvalue ();
    }
    while (iter++ < itermax && delta > 1e-6 && delta < 1e6);
    /* Control iteration number,
       convergence and divergence */

    /* Convergence achieved: write
       one line in result file */
    if (delta < 1e-6)
        writefile ();
}
printf ("\nPodé fechar a janela. Este programa j acabou de rodar.");
free (ts);
} /* End on allowed pulsation
   value exhaust */

recalc ()
/* Error function */
/* F = Y - a[0]*sin(a[1]*t +a[2]) */
/* F = ts[1][k] - a[0]*sin(a[1]*ts[0][k]+a[2]) */
{
    /* Initializing */
    c[0][0] = c[1][1] = c[2][2] = c[0][1] = c[1][2] = c[0][2] = 0.0;
    v[0] = v[1] = v[2] = S = 0.0;
    k = -1;
    /* Sums on all samples */
    while (++k <= kmax)
    {
        /* Derivatives / parameters */
        Fa0 = -sin (arg = a[1] * ts[0][k] + a[2]);
        Fa2 = -a[0] * cos (arg);
        Fa1 = Fa2 * ts[0][k];
        F0 = ts[1][k] + a[0] * Fa0; /* Difference function */

        /* No weighting of data */
        L = 1.0;

        /* Filling matrix c[3][3] */
        c[0][0] += Fa0 * Fa0 / L;
        c[1][1] += Fa1 * Fa1 / L;
        c[2][2] += Fa2 * Fa2 / L;
        c[0][1] += Fa0 * Fa1 / L;
        c[1][2] += Fa1 * Fa2 / L;
        c[0][2] += Fa0 * Fa2 / L;
        /* Filling matrix v[3] */
        v[0] += Fa0 * F0 / L;
        v[1] += Fa1 * F0 / L;
        v[2] += Fa2 * F0 / L;
        S += F0 * F0 / L;
    }
}

solve ()
/* Any resolution may be used */
{
    d = c[0][0] * (c[1][1] * c[2][2] - c[1][2] * c[1][2]);
    d += c[0][1] * (c[0][2] * c[1][2] - c[0][1] * c[2][2]);
    d += c[0][2] * (c[0][1] * c[1][2] - c[0][2] * c[1][1]);
    e[0][0] = (c[1][1] * c[2][2] - c[1][2] * c[1][2]) / d;
}

```





```

title ()
{
  printf ("\n\n\t\tTIME SERIES ITERATIVE REGRESSION ANALYSIS");
  printf
    ("\n\n\t\tANLISE POR REGRESSÃO ITERATIVA DE SRIES TEMPORAIS (ARIST)\n\n");
}

```

## H.2. RSTUDIO

- **Nome do programa:** RStudio, versão 1.4.1103 (rodando a versão 4.0.3 do R);
- **Fonte/referência:** presente trabalho<sup>334</sup>;
- **Linguagem de programação**<sup>335</sup>: R; c
- **Sistema Operacional testado:** Windows 10, 64 bits.

### H.2.1. Códigos de análise da temperatura – GLOBAL

#### H.2.1.1. ETAPA 1 – Análise Descritiva e Remoção de Tendência

```

#####.#
####          #####
####      Temperatura global (HadCRUT3)      #####
####          #####
####      ETAPA 01          #####
#### ANÁLISE DESCRITIVA E REMOÇÃO DE TENDÊNCIA #####
####          #####
#####.#

#####.#
#### Carregamento dos pacotes utilizados #####
#####.#

#### Carregando pacote para abrir arquivo em formato de excel
library("xlsx")

#### Carregando pacote para manipulação e estruturação de dados
library("dplyr")

#### Instalando e carregando pacote de técnica de análise espectral - Periodograma Multitaper
install.packages("multitaper")
install.packages("psd")
library("multitaper")
library("psd")

#### Instalando e carregando pacote de técnica de análise espectral - Periodograma de Lomb
install.packages("lomb")
library("lomb")

#### Instalando e carregando pacote de técnica de análise espectral - Periodograma de Máxima Entropia
install.packages("ssa", repos="http://R-Forge.R-project.org")
library("ssa")
#library("bspec")

#### carregando pacote para suavização e previsão de valores da série
library(splines)

#### carregando pacote para geração de gráficos
library(ggplot2)

```

<sup>334</sup> Os códigos de programação em R foram elaborados pela Empresa Júnior de Estatística (EJE) da UFSCar, sob orientação e supervisão do autor.

<sup>335</sup> Para facilitar a compreensão, usou-se um esquema de cores nos códigos de programação, conforme elaborado pelo programa *Notepad++*, plugin *Nppexport*.

```

#### Alterando a opção do R para desativar notação científica
options(scipen = 999)

#####.#
#### Manipulação do Banco de Dados #####
#####.#

#### Especificando o local na qual está armazenado o banco de dados
setwd("E:\\TESE\\Dados\\Banco de dados - R")

#### Fazendo a leitura dos dados
Temp.global.mensal = read.xlsx("E:\\TESE\\Dados\\HadCRUT3 - Temperatura Global\\hadcrut3_mensal.xlsx", "hadcrut3")

#### Criando uma coluna apenas com o ano de cada observação da série
Temp.global.mensal$Data_Anual = gsub("/.*", "", Temp.global.mensal$Data_Mensal)

#### Visualizando os 5 primeiros registros
head(Temp.global.mensal)

#### Visualizando os 5 últimos registros
tail(Temp.global.mensal)

#### Criando o banco de dados com a temperatura anual através da mediana
Temp.global.anual = Temp.global.mensal %>%
  group_by(Data_Anual) %>%
  summarise(Mediana = median(Desvio)) %>%
  as.data.frame()

#### Retirando os registros de 2012 pra frente
Temp.global.anual = Temp.global.anual[1:162,]

#### Transformando a data em numérica
Temp.global.anual$Data_Anual = as.numeric(Temp.global.anual$Data_Anual)

#### Deletando a data anual do banco de dados mensal
Temp.global.mensal$Data_Anual = NULL

#####.#
#### Transformação em série temporal #####
#####.#

#### Transformando o banco de dados em um formato de série temporal, cuja frequência é anual
ts.temp.global.anual = ts(Temp.global.anual$Mediana,
  frequency = 1,
  start = c(1850),
  end = c(2011))

#### Transformando o banco de dados em um formato de série temporal, cuja frequência é mensal
ts.temp.global.mensal = ts(Temp.global.mensal$Desvio,
  frequency = 12,
  start = c(1850,1),
  end = c(2011,5))

#### Plotando o gráfico da série mensal
ts.plot(ts.temp.global.mensal, xlab = "Ano", ylab = "Desvio", main = "HadCrut3 - Desvio de temperatura mensal (1850-2011)")

#### Plotando o gráfico da série anual
ts.plot(ts.temp.global.anual, xlab = "Ano", ylab = "Desvio", main = "HadCrut3 - Desvio de temperatura anual (1850-2011)")

#### Observamos uma tendência crescente na série, na qual iremos retirá-la através de dois métodos

#####.#
#### Retirando tendência usando DIFF #####
#####.#

#### Retirando a tendência usando diferenciação da série mensal
diff.ts.temp.global.mensal = diff(ts.temp.global.mensal,1)
ts.plot(diff.ts.temp.global.mensal)

#### Retirando a tendência usando diferenciação da série anual
diff.ts.temp.global.anual = diff(ts.temp.global.anual,1)
ts.plot(diff.ts.temp.global.anual)

#####.#
#### Retirando tendência usando ajuste polinomial #####
#####.#

#### Criando um novo banco de dados para retirar a tendência usando regressão na série anual

```



```

Temp.global.anual.reg = Temp.global.anual

#### Fazendo o ajuste polinomial na data
Temp.global.anual.reg$Data_Anual_2 = (Temp.global.anual.reg$Data_Anual)^2

#### Criando um novo banco de dados para retirar a tendência usando regressão na série mensal
Temp.global.mensal.reg = Temp.global.mensal[1:1937,]

#### Retirando o mês da variável com a data
Temp.global.mensal.reg$Data_Mensal = gsub("/.*", "", Temp.global.mensal.reg$Data_Mensal)

#### Transformando a data em formato numérico
Temp.global.mensal.reg$Data_Mensal = as.numeric(Temp.global.mensal.reg$Data_Mensal)

#### Fazendo o ajuste polinomial na data
Temp.global.mensal.reg$Data_Mensal_2 = (Temp.global.mensal.reg$Data_Mensal)^2

#### Ajustando o modelo de regressão polinomial na série anual
quadratic.model.anual = lm(Mediana ~ Data_Anual + Data_Anual_2, data = Temp.global.anual.reg)

#### Verificando os resultados
summary(quadratic.model.anual)

#### Ajustando o modelo de regressão polinomial na série mensal
quadratic.model.mensal = lm(Desvio ~ Data_Mensal + Data_Mensal_2, data = Temp.global.mensal.reg)

#### Verificando os resultados
summary(quadratic.model.mensal)

#### Criando o gráfico da série mensal
ts.plot(ts.temp.global.mensal)

#### Adicionando o modelo ajustado anteriormente para verificar a coerência na série
points(Temp.global.mensal.reg$Data_Mensal, predict(quadratic.model.mensal), type="l", col = "darkred")

#### Adicionando a fórmula do modelo ajustado no gráfico
text(1900, 0.5, expression(yt == 188.588 - 0.192*t + 0.0000511*t^2))

#### Criando o gráfico da série anual
ts.plot(ts.temp.global.anual)

#### Adicionando o modelo ajustado anteriormente para verificar a coerência na série
points(Temp.global.anual.reg$Data_Anual, predict(quadratic.model.anual), type="l", col = "darkred")

#### Adicionando a fórmula do modelo ajustado no gráfico
text(1900, 0.4, expression(yt == 181.600 - 0.194*t + 0.0000516*t^2))

#### Utilizando os resíduos, sendo a série estacionária tanto para anual quanto para mensal
poli.temp.global.anual = quadratic.model.anual$residuals
poli.temp.global.mensal = quadratic.model.mensal$residuals

#### Transformando os resíduos no formato da série temporal anual
ts.poli.temp.global.anual = ts(poli.temp.global.anual,
                             frequency = 1,
                             start = c(1850),
                             end = c(2011))

#### Transformando os resíduos no formato da série temporal mensal
ts.poli.temp.global.mensal = ts(poli.temp.global.mensal,
                               frequency = 12,
                               start = c(1850,1),
                               end = c(2011,5))

#### Criando o gráfico para verificar a série estacionária anual
ts.plot(ts.poli.temp.global.anual,
        xlab = "Tempo",
        ylab = "Resíduos",
        main = "série anual sem tendência usando polinômio")

#### Criando o gráfico para verificar a série estacionária mensal
ts.plot(ts.poli.temp.global.mensal,
        xlab = "Tempo",
        ylab = "Resíduos",
        main = "série mensal sem tendência usando polinômio")

#### Ajustando um modelo de regressão linear da série temporal mensal
linear.model.mensal = lm(Desvio ~ Data_Mensal, data = Temp.global.mensal.reg)
summary(linear.model.mensal)

```

```

ts.plot(ts.temp.global.mensal)
points(Temp.global.mensal.reg$Data_Mensal, predict(linear.model.mensal), type="l", col = "darkred")
text(1880, 0.5, expression(yt == -8.818 + 0.0044*t))

#### Removendo a tendência linear da série através da reta de regressão criada

linear.temp.global.mensal = linear.model.mensal$residuals

ts.linear.temp.global.mensal = ts(linear.temp.global.mensal,
                                frequency = 12,
                                start = c(1850,1),
                                end = c(2011,5))

ts.plot(ts.linear.temp.global.mensal)

#### Ajustando um modelo de regressão linear da série temporal anual

linear.model.anual = lm(Mediana ~ Data_Anuar, data = Temp.global.anual)
summary(linear.model.anual)
ts.plot(ts.temp.global.anual)
points(Temp.global.anual.reg$Data_Anuar, predict(linear.model.anual), type="l", col = "darkred")
text(1880, 0.5, expression(yt == -8.734 + 0.0044*t))

#### Removendo a tendência linear da série através da reta de regressão criada

linear.temp.global.anual = linear.model.anual$residuals

ts.linear.temp.global.anual = ts(linear.temp.global.anual,
                                frequency = 1,
                                start = c(1850),
                                end = c(2011))

ts.plot(ts.linear.temp.global.anual)

```

## H.2.1.2. ETAPA 2 – Análises Espectrais

```

##### #
####      Temperatura global (HadCRUT3)      ####
####      ETAPA 02                          ####
####      ANÁLISES ESPECTRAIS              ####
####      #####                             ####
##### #

##### #
#### Periodograma - Método de Lomb-Scargle ####
##### #

##### MENSAL #####

#### Criando o periodograma retirando a tendência linear para a série mensal

linear.lsp.temp.global.frequency.mensal = lsp(ts.linear.temp.global.mensal,ofac=5, plot = TRUE, alpha = 0.1)
linear.lsp.temp.global.period.mensal = lsp(ts.linear.temp.global.mensal,ofac=5, plot = TRUE, alpha = 0.1, type = "period")

#### Criando o periodograma retirando a tendência quadrática para a série mensal

quadratic.lsp.temp.global.frequency.mensal = lsp(ts.poli.temp.global.mensal,ofac=5, plot = TRUE, alpha = 0.1)
quadratic.lsp.temp.global.period.mensal = lsp(ts.poli.temp.global.mensal,ofac=5, plot = TRUE, alpha = 0.1, type = "period")

#### Verificando o período que mais se destaca

linear.lsp.temp.global.frequency.mensal$peak.at
quadratic.lsp.temp.global.frequency.mensal$peak.at

#### Organizando os dados e salvando para criar o periodograma em escala logaritmica no arquivo "Gráficos.R"

periodicidade.lomb.mensal = data.frame(freq = quadratic.lsp.temp.global.period.mensal$power,
                                     spec = quadratic.lsp.temp.global.period.mensal$scanned)

order.lomb.mensal = periodicidade.lomb.mensal[order(-periodicidade.lomb.mensal$spec),]

```

```
##### ANUAL #####

#### Refazendo os passos anteriores para a série anual

linear.lsp.temp.global.frequency.anual = lsp(ts.linear.temp.global.anual,ofac=5, plot = TRUE, alpha = 0.1)
linear.lsp.temp.global.period.anual   = lsp(ts.linear.temp.global.anual,ofac=5, plot = TRUE, alpha = 0.1, type = "period")

quadratic.lsp.temp.global.frequency.anual = lsp(ts.poli.temp.global.anual,ofac=5, plot = TRUE, alpha = 0.1)
quadratic.lsp.temp.global.period.anual   = lsp(ts.poli.temp.global.anual,ofac=5, plot = TRUE, alpha = 0.1, type = "period")

linear.lsp.temp.global.frequency.anual$peak.at
quadratic.lsp.temp.global.frequency.anual$peak.at

#### Organizando os dados e salvando para criar um único gráfico com todos os métodos "Gráficos.R"

periodicidade.lomb.anual = data.frame(power.x = quadratic.lsp.temp.global.period.anual$power,
                                     periodo = quadratic.lsp.temp.global.period.anual$scanned)

order.lomb.anual = periodicidade.lomb.anual[order(-periodicidade.lomb.anual$periodo),]

#####
#### Periodograma - Método Multi taper ####
#####

#### Utilizando o algoritmo "spec.mtm" para série mensal, com o intuito de verificar periodicidade

resSpec.mensal = spec.mtm(ts.poli.temp.global.mensal, nw=2, k=4, Ftest = TRUE, plot = F ,deltat=1.0, dtUnits="month")

plot(resSpec.mensal, Ftest=TRUE, siglines=c(0.90, 0.99))

resSpec2.mensal = spec.mtm(ts.poli.temp.global.mensal, nw=2, k=4, Ftest=TRUE, jackknife=TRUE, plot=FALSE,
                          deltat=1.0, dtUnits="month")

plot(resSpec2.mensal, jackknife = F)
#plot(resSpec2.mensal, jackknife = TRUE)

#### Organizando os dados e salvando para criar o periodograma em escala logaritmica no arquivo "Gráficos.R"

periodicidade.spec.mtm.mensal = data.frame(freq = resSpec2.mensal$freq,
                                           spec = resSpec2.mensal$spec)

order.spec.mtm.mensal = periodicidade.spec.mtm.mensal[order(-periodicidade.spec.mtm.mensal$spec),]
top.spec.mtm.mensal   = head(order.spec.mtm.mensal,10)
top.spec.mtm.mensal$periodicidade = 1/top.spec.mtm.mensal$freq

#### Utilizando o algoritmo "spec.mtm" para série anual, com o intuito de verificar periodicidade

resSpec.anual = spec.mtm(ts.poli.temp.global.anual, nw=2, k=4, Ftest = TRUE, plot = F ,deltat=1.0, dtUnits="month")
plot(resSpec.anual, Ftest=TRUE, siglines=c(0.90, 0.99))

resSpec2.anual = spec.mtm(ts.poli.temp.global.anual, nw=2, k=4, Ftest=TRUE, jackknife=TRUE, plot=FALSE,
                          deltat=1.0, dtUnits="month")
plot(resSpec2.anual, jackknife = F)

#### Organizando os dados e salvando para criar o periodograma em escala logaritmica no arquivo "Gráficos.R"

periodicidade.spec.mtm.anual = data.frame(freq = resSpec.anual$freq,
                                           spec = resSpec.anual$spec)

order.spec.mtm.anual = periodicidade.spec.mtm.anual[order(-periodicidade.spec.mtm.anual$spec),]
top.spec.mtm.anual   = head(order.spec.mtm.anual,10)
top.spec.mtm.anual$periodicidade = 1/top.spec.mtm.anual$freq

#### Utilizando algoritmo "pspectrum" para série mensal, com o intuito de verificar periodicidade

mtpsd.mensal <- pspectrum(ts.poli.temp.global.mensal, plot=F)
PSDc.recovered.mensal <- psd_envGet("mtpsd.mensal")
plot(PSDc.recovered.mensal)

#### Organizando os dados e salvando para criar o periodograma em escala logaritmica no arquivo "Gráficos.R"

periodicidade.pspectrum.mensal = data.frame(freq = mtpsd.mensal$freq,
                                           spec = mtpsd.mensal$spec)

order.pspectrum.mensal = periodicidade.pspectrum.mensal[order(-periodicidade.pspectrum.mensal$spec),]
top.pspectrum.mensal   = head(order.pspectrum.mensal,10)
top.pspectrum.mensal$periodicidade = 1/top.pspectrum.mensal$freq

#### Utilizando algoritmo "pspectrum" para série anual, com o intuito de verificar periodicidade
```

```

mtpsd.anual <- pspectrum(ts.poli.temp.global.anual, plot=F)
PSDc_recovered.anual <- psd_envGet("mtpsd.anual")
plot(PSDc_recovered.anual)

#### Organizando os dados e salvando para criar o periodograma em escala logaritmica no arquivo "Gráficos.R"

periodicidade.pspectrum.anual = data.frame(freq = mtpsd.anual$freq,
                                           spec = mtpsd.anual$spec)

order.pspectrum.anual = periodicidade.pspectrum.anual[order(-periodicidade.pspectrum.anual$spec),]
top.pspectrum.anual = head(order.pspectrum.anual,10)
top.pspectrum.anual$periodicidade = 1/top.pspectrum.anual$freq

#####.#
#### Periodograma - Método de Maxima Entropia ####
#####.#

#### Utilizando o algoritmo "spectrum" para série mensal

spectrum.stat.mensal = spectrum(ts.temp.global.mensal, col="gray")
spectrum.stat.mensal2 = spectrum(ts.temp.global.mensal, spans = c(2,4))

#### Organizando os dados e salvando para criar o periodograma em escala logaritmica no arquivo "Gráficos.R"

periodicidade.spectrum.mensal = data.frame(freq = spectrum.stat.mensal$freq,
                                           spec = spectrum.stat.mensal$spec)

order.spectrum.mensal = periodicidade.spectrum.mensal[order(-periodicidade.spectrum.mensal$spec),]
top.spectrum.mensal = head(order.spectrum.mensal,10)
top.spectrum.mensal$periodicidade = 1/top.spectrum.mensal$freq

#### Utilizando o algoritmo "spectrum" para série anual

spectrum.stat.anual = spectrum(ts.temp.global.anual, col="gray")
spectrum.stat.anual2 = spectrum(ts.temp.global.anual, spans = c(2,4))

#### Organizando os dados e salvando para criar o periodograma em escala logaritmica no arquivo "Gráficos.R"

periodicidade.spectrum.anual = data.frame(freq = spectrum.stat.anual$freq,
                                           spec = spectrum.stat.anual$spec)

order.spectrum.anual = periodicidade.spectrum.anual[order(-periodicidade.spectrum.anual$spec),]
top.spectrum.anual = head(order.spectrum.anual,10)
top.spectrum.anual$periodicidade = 1/top.spectrum.anual$freq

#### Utilizando o algoritmo "spec.ar" para série mensal

spec.ar1.mensal = spec.ar(ts.poli.temp.global.mensal, method = "burg", plot = TRUE, col = "purple")
spec.ar2.mensal = spec.ar(ts.poli.temp.global.mensal, method = "mle", plot = TRUE, col = "forest green")

#### Organizando os dados e salvando para criar o periodograma em escala logaritmica no arquivo "Gráficos.R"

periodicidade.spec.ar1.mensal = data.frame(freq = spec.ar1.mensal$freq,
                                           spec = spec.ar1.mensal$spec)

order.spec.ar1.mensal = periodicidade.spec.ar1.mensal[order(-periodicidade.spec.ar1.mensal$spec),]
top.spec.ar1.mensal = head(order.spec.ar1.mensal,10)
top.spec.ar1.mensal$periodicidade = 1/top.spec.ar1.mensal$freq

#### Utilizando o algoritmo "spec.ar" para série anual

spec.ar1.anual = spec.ar(ts.poli.temp.global.anual, method = "burg", plot = TRUE, col = "purple")
spec.ar2.anual = spec.ar(ts.poli.temp.global.anual, method = "mle", plot = TRUE, col = "forest green")

#### Organizando os dados e salvando para criar o periodograma em escala logaritmica no arquivo "Gráficos.R"

periodicidade.spec.ar1.anual = data.frame(freq = spec.ar1.anual$freq,
                                           spec = spec.ar1.anual$spec)

order.spec.ar1.anual = periodicidade.spec.ar1.anual[order(-periodicidade.spec.ar1.anual$spec),]
top.spec.ar1.anual = head(order.spec.ar1.anual,10)
top.spec.ar1.anual$periodicidade = 1/top.spec.ar1.anual$freq

#### Utilizando algoritmo "mem.spec" para série mensal

mem.spec <- function(y, ord=5,... ) {
  ## INPUT ##
  ## y = Série de interesse

```

```

## Ordem se uma série AR

y <- y - mean(y)
I <- length(y)
if ( ord >= I ) stop("The length of the window is longer than the data")

sp<-spec.ar(y, method="burg",aic=FALSE, order=ord,...)
return(sp)
}

spec.mem.mensal = mem.spec(ts.poli.temp.global.mensal,ord=200)

##### Organizando os dados e salvando para criar o periodograma em escala logaritmica no arquivo "Gráficos.R"

periodicidade.spec.mem.mensal = data.frame(freq = spec.mem.mensal$freq,
spec = spec.mem.mensal$spec)

order.spec.mem.mensal = periodicidade.spec.mem.mensal[order(-periodicidade.spec.mem.mensal$spec),]
top.spec.mem.mensal = head(order.spec.mem.mensal,10)
top.spec.mem.mensal$periodicidade = 1/top.spec.mem.mensal$freq

##### Utilizando algoritmo "mem.spec" para série anual

spec.mem.anual = mem.spec(ts.poli.temp.global.anual,ord=30)

##### Organizando os dados e salvando para criar o periodograma em escala logaritmica no arquivo "Gráficos.R"

periodicidade.spec.mem.anual = data.frame(freq = spec.mem.anual$freq,
spec = spec.mem.anual$spec)

order.spec.mem.anual = periodicidade.spec.mem.anual[order(-periodicidade.spec.mem.anual$spec),]
top.spec.mem.anual = head(order.spec.mem.anual,20)
top.spec.mem.anual$periodicidade = 1/top.spec.mem.anual$freq

#####
##### Periodograma - Método Fast Fourier Transform (FFT) #####
#####

##### MENSAL #####

##### Separando espaço para dois gráficos

dev.off()
#par(mfrow=c(2,1), mar=c(3,3,1,1), mgp=c(1.6,.6,0))

##### Cálculos para obtenção do espectro utilizando o pacote FFT

n.mensal = length(ts.poli.temp.global.mensal)
I.mensal = abs(fft(ts.poli.temp.global.mensal)/sqrt(n.mensal))^2
P.mensal = I.mensal*4/n.mensal

##### Gráfico da série original

ts.plot(ts.poli.temp.global.mensal)

##### Plot do periodograma sem duplicação

freq.mensal = (0:(n.mensal/2))/n.mensal
plot(freq.mensal,P.mensal[1:(n.mensal/2+1)], type="l", xlab="Frequencia",ylab="Periodograma Escalado")

order.fft.mensal.1 = data.frame(Freq = freq.mensal,
Amplitude = P.mensal[1:(n.mensal/2+1)])

##### Teste de Fisher para verificar se o Periodograma é ruído branco ou se existem frequências que se destacam

sai.mensal = cbind(1/freq.mensal,P.mensal[1:(n.mensal/2+1)])
Periodograma.mensal = P.mensal[1:(n.mensal/2+1)]
g.mensal = max(Periodograma.mensal)/sum(Periodograma.mensal) ; g.mensal
alfa.mensal = n.mensal*(1-g.mensal)^(n.mensal-1) ; alfa.mensal

##### Organizando os dados e salvando para criar o periodograma em escala logaritmica no arquivo "Gráficos.R"

periodicidade.fft.mensal = data.frame(freq = freq.mensal,
spec = Periodograma.mensal)

order.fft.mensal = periodicidade.fft.mensal[order(-periodicidade.fft.mensal$spec),]
top.fft.mensal = head(order.fft.mensal,10)
top.fft.mensal$periodicidade = 1/top.fft.mensal$freq

```

```
##### ANUAL #####

#### Separando espaço para dois gráficos

#par(mfrow=c(2,1), mar=c(3,3,1,1), mgp=c(1.6,.6,0))

#### Cálculos para obtenção do espectro utilizando o pacote FFT

n.anual = length(ts.poli.temp.global.anual)
I.anual = abs(fft(ts.poli.temp.global.anual)/sqrt(n.anual))^2
P.anual = I.anual*4/n.anual

#### Gráfico da série original

ts.plot(ts.poli.temp.global.anual)

#### Plot do periodograma sem duplicação

freq.anual = (8:(n.anual/2))/n.anual
plot(freq.anual,P.anual[1:(n.anual/2+1)], type="l", xlab="Frequencia",ylab="Periodograma Escalado")

#### Teste de Fisher para verificar se o Periodograma é ruído branco ou se existem frequências que se destacam

sai.anual = cbind(1/freq.anual,P.anual[1:(n.anual/2+1)])
Periodograma.anual = P.anual[1:(n.anual/2+1)]
g.anual = max(Periodograma.anual)/sum(Periodograma.anual) ; g.anual
alfa.anual = n.anual*(1-g.anual)^(n.anual-1) ; alfa.anual

periodicidade.fft.anual = data.frame(freq = freq.anual,
                                     spec = Periodograma.anual)

order.fft.anual = periodicidade.fft.anual[order(-periodicidade.fft.anual$spec),]
top.fft.anual = head(order.fft.anual,10)
top.fft.anual$periodicidade = 1/top.fft.anual$freq

##### #
#### Manipulação do Banco de Dados #####
##### #

#### Ajustando as séries, retirando valores desnecessários
order.fft.anual = order.fft.anual[-nrow(order.fft.anual),]
order.spec.mem.anual = order.spec.mem.anual[-165,]
order.lomb.anual = order.lomb.anual

#### Padronizando os valores do eixo y, o spectrum para ficarem na mesma escala
y.serie.fft.anual = (order.fft.anual$spec-mean(order.fft.anual$spec))/sd(order.fft.anual$spec)
y.serie.spec.mem.anual = (order.spec.mem.anual$spec-mean(order.spec.mem.anual$spec))/sd(order.spec.mem.anual$spec)
y.serie.spectrum.anual = (order.spectrum.anual$spec-mean(order.spectrum.anual$spec))/sd(order.spectrum.anual$spec)
y.serie.lomb.anual = (order.lomb.anual$power.x-mean(order.lomb.anual$power.x))/sd(order.lomb.anual$power.x)

#### Ajustando os valores do eixo x, a periodicidade, para ficarem na mesma escala
x.order.fft.anual = log(1/order.fft.anual$freq)
x.order.spec.mem.anual = log(1/order.spec.mem.anual$freq)
x.order.spectrum.anual = log(1/order.spectrum.anual$freq)
x.order.lomb.anual = log(order.lomb.anual$periodo)

#### Prevendo esses valores da serie
yy.serie.fft.anual = predict(interpSpline(x.order.fft.anual, y.serie.fft.anual))
yy.serie.spec.mem.anual = predict(interpSpline(x.order.spec.mem.anual, y.serie.spec.mem.anual))
yy.serie.spectrum.anual = predict(interpSpline(x.order.spectrum.anual, y.serie.spectrum.anual))
yy.serie.lomb.anual = predict(interpSpline(x.order.lomb.anual, y.serie.lomb.anual))

#### Criando os intervalos de confiança para plotar junto ao gráfico
n.out <- max(order.fft.anual$freq)
ofac = 5
effm <- 2 * n.out/ofac

level.fft.001 <- -log(1 - (1 - 0.01)^(1/effm))
level.fft.005 <- -log(1 - (1 - 0.05)^(1/effm))
level.fft.010 <- -log(1 - (1 - 0.10)^(1/effm))

##### #
#### GRÁFICOS INDIVIDUAIS ##
##### #

# Limpando área gráfica
dev.off()

#### Lomb
```

```

plot(x.order.lomb.anual,
     y.serie.lomb.anual,
     ylim = c(0,11),
     xlim = c(2,4.5),
     main= "Periodograma (lomb)", #nome do título do gráfico
     ylab = "Spectrum Normalized",
     xlab = "Período (anos)",lty = 3, lwd=2, col="white",
     xaxt = "n"
)

axis(1, at=1:6, labels=c(round(exp(1),1),round(exp(2),1),round(exp(3),1),round(exp(4),1),round(exp(5),1),round(exp(6),1))) #Ajustando
posições no gráfico
lines(yy.serie.lomb.anual, col="black", lwd=2)

#### MTM / Spectrum

plot(x.order.spectrum.anual,
     y.serie.spectrum.anual,
     ylim = c(0,6),
     xlim = c(2,4.3),
     main= "Periodograma (MTM)", #nome do título do gráfico
     ylab = "Spectrum Normalized",
     xlab = "Período (anos)",lty = 3, lwd=2, col="white",
     xaxt = "n"
)

axis(1, at=1:6, labels=c(round(exp(1),1),round(exp(2),1),round(exp(3),1),round(exp(4),1),round(exp(5),1),round(exp(6),1))) #Ajustando
posições no gráfico
lines(yy.serie.spectrum.anual, col="blue", lwd=2)

#### MEM

plot(x.order.spec.mem.anual,
     y.serie.spec.mem.anual,
     ylim = c(0,13),
     xlim = c(2,4.8),
     main= "Periodograma (mem)", #nome do título do gráfico
     ylab = "Spectrum Normalized",
     xlab = "Período (anos)",lty = 3, lwd=2, col="white",
     xaxt = "n"
)

axis(1, at=1:6, labels=c(round(exp(1),1),round(exp(2),1),round(exp(3),1),round(exp(4),1),round(exp(5),1),round(exp(6),1))) #Ajustando
posições no gráfico
lines(yy.serie.spec.mem.anual, col="purple", lwd=2)

#### FFT

plot(x.order.fft.anual,
     y.serie.fft.anual,
     ylim = c(0,10),
     xlim = c(2,4.8),
     main= "Periodograma (fft)", #nome do título do gráfico
     ylab = "Spectrum Normalized",
     xlab = "Período (anos)",lty = 3, lwd=2, col="white",
     xaxt = "n"
)

axis(1, at=1:6, labels=c(round(exp(1),1),round(exp(2),1),round(exp(3),1),round(exp(4),1),round(exp(5),1),round(exp(6),1))) #Ajustando
posições no gráfico
lines(yy.serie.fft.anual, col="#e6194B", lwd=2)

#### Demarcando a área na qual o gráfico será feito

plot(x.order.fft.anual, y.serie.fft.anual,ylim =
c(1.1*min(yy.serie.fft.anual$y,yy.serie.spec.mem.anual$y,yy.serie.spectrum.anual$y,yy.serie.lomb.anual$y),1.1*max(yy.serie.fft.anual$y,yy.ser
ie.spec.mem.anual$y,yy.serie.spectrum.anual$y,yy.serie.lomb.anual$y)), #ylim é de onde começa até onde termina o eixo y
     main= "Periodogramas", #nome do título do gráfico
     ylab = "Spectrum Normalized", xlab = "", #indicando que o eixo x não tera labels
     lty = 3, lwd=2, col="white",
     xlim = (c(2,0.9*max(x.order.fft.anual))),
     xaxt = "n"
)

#### Adicionando o eixo X
axis(1, at=1:6, labels=c(round(exp(1),1),round(exp(2),1),round(exp(3),1),round(exp(4),1),round(exp(5),1),round(exp(6),1))) #Ajustando
posições no gráfico

```

```
##### Inserindo titulo no eixo x
title(xlab="Periodo (anos)")

##### Inserindo o periodograma de Lomb
lines(yy.serie.lomb.anual, col="#f37735", lwd=2)

##### Inserindo o periodograma MTM / Spectrum
lines(yy.serie.spectrum.anual, col="#4363d8", lwd=2)

##### Inserindo o periodograma MEM
lines(yy.serie.spec.mem.anual, col="#3cb44b", lwd=2)

##### Inserindo o periodograma FFT
lines(yy.serie.fft.anual, col="#e6194B", lwd=2)

##### Adicionando as linhas verticais, indicando os períodos discrepantes
abline(v = c(2.2,3,4.094345), col=c("#e6194B", "#3cb44b", "#4363d8"), lty=c(2,2,2), lwd=c(1,1,1))

##### Adicionando as linhas horizontais, indicando os intervalos de confiança
abline(h = c(level.fft.001,level.fft.005,level.fft.010),col=c("#e6194B", "#3cb44b", "#4363d8"), lty = c(2,2,2))

##### Adicionando legenda ao gráfico
legend("topleft",
      legend=c("Lomb", "MTM", "MEM", "FFT"),
      lty=c(1,1,1,1),cex=0.8, col=c("#f37735", "#4363d8", "#3cb44b", "#e6194B")) #Inserindo a Legenda

##### Adicionando texto para as linhas verticais
text(2.07, 7.5, "9 anos",cex = .8,col = "#e6194B")
text(2.85, 7.5, "20 anos",cex = .8,col = "#3cb44b")
text(3.80, 7.5, "60 anos",cex = .8,col = "#4363d8")

##### Adicionando texto para as linhas horizontais dos níveis de confiança
text(2.07, 3.8, "99%",cex = .7)
text(2.07, 2.2, "95%",cex = .7)
text(2.07, 0.4, "90%",cex = .7)
```

### H.2.1.3. ETAPA 3 – Análise Preditiva: Modelagem e Projeções

```
#####.#
#####
#####   Temperatura global (HadCRUT3)   #####
#####   #####
#####           ETAPA 03                #####
#####   MODELAGEM E PROJEÇÕES          #####
#####   #####
#####.#

#####
##### Modelo para encontrar senóides #####
#####

serie = ts.temp.global.anual
n.max = length(ts.temp.global.anual)
sig.min = 0.05

encontra_senos = function(serie, n.max, sig.min) {
  lmp = function (modelobject) {
    if (class(modelobject) != "lm") stop("Not an object of class 'lm' ")
    f = summary(modelobject)$fstatistic
    p = pf(f[1],f[2],f[3],lower.tail=F)
    attributes(p) = NULL
    return(p)
  }

  senos_sig = NULL
  cossenos_sig = NULL
  for(i in 2:n.max) {
    senos = sin(2*pi*(1:length(serie))/i)
    if(lmp(lm(serie ~ senos)) < sig.min) {
      senos_sig = c(senos_sig, i)
    }
    cossenos = cos(2*pi*(1:length(serie))/i)
    if(lmp(lm(serie ~ cossenos)) < sig.min) {
      cossenos_sig = c(cossenos_sig, i)
    }
  }
}
```



```

}
}

x = data.frame(sapply(senos_sig, function(a)
  sin(2*pi*(1:(length(serie)+10))/a)),
  sapply(cossenos_sig, function(a)
    cos(2*pi*(1:(length(serie)+10))/a)))
colnames(x) = c(paste('Seno', senos_sig, sep = ''), paste('Cosseno', cossenos_sig, sep = ''))
treino = data.frame(serie, x[1:length(serie),])

mod = lm(serie ~ ., data = treino)

return(mod)
}
#####

##### MENSAL AUTOMÁTICO #####
{
mod.mensal = encontra_senoides(ts.temp.global.mensal, length(ts.temp.global.mensal), 0.05)
plot(c(ts.temp.global.mensal), type = 'l')
lines(predict(mod.mensal), col = 'red')

# Parâmetros que entraram no modelo
data.frame(summary(mod.mensal)$coefficients[,1])
}

##### ANUAL AUTOMÁTICO #####
{
mod.anual = encontra_senoides(ts.temp.global.anual, length(ts.temp.global.anual), 0.05)
plot(c(ts.temp.global.anual), type = 'l')
lines(predict(mod.anual), col = 'red')

# Parâmetros que entraram no modelo
data.frame(summary(mod.anual)$coefficients[,1])
}

#####
#### Modelos com base em variação natural ####
#####

library("xlsx")
natural = read.xlsx("E:\\TESE\\Dados\\Scafetta - Forçamento natural\\natural-2.xlsx", "Planilha1")

##### MENSAL #####

#### Modelo quadrático mensal ####

Forecast.1.mensal = lm(Desvio ~ Data_Mensal + Data_Mensal_2, data = Temp.global.mensal.reg)
plot(c(ts.temp.global.mensal),
  type = 'l',
  main = "Previsão", #nome do título do gráfico
  ylab = "Desvio Temperatura", #indicando que o eixo x não terá labels
  xlab = "Anos")

lines(predict(Forecast.1.mensal), col = 'red')

teste.mod.quad.mensal = data.frame(Data_Mensal = rep(1850:2100, each=12),
  Data_Mensal_2 = rep(1850:2100, each=12)^2)

predict.quad.mensal = data.frame(predict(Forecast.1.mensal, newdata = teste.mod.quad.mensal, interval = "prediction"))

plot(seq(0,3012), rnorm(3013),
  ylim = c(-1,2),
  main = "Previsão", #nome do título do gráfico
  ylab = "Desvio Temperatura", #indicando que o eixo x não terá labels
  xlab = "Anos",
  lty = 3, lwd=2, col="white",
  xlim = c(0,3012),
  xaxt="none")

axis(1, at=c(0,600,1200,1800,2400,3000), labels=c(1850,1900,1950,2000,2050,2100))

lines(c(ts.temp.global.mensal))
lines(predict.quad.mensal$fit, col = "red")
lines(predict.quad.mensal$lwr, col = "gray")
lines(predict.quad.mensal$upr, col = "gray")

#### Modelo decomposto em seno e cosseno ####
treino.mod.mensal = data.frame(serie = ts.temp.global.mensal,

```

```

sen60 = sin(2*pi*(1:length(ts.temp.global.mensal))/720),
cos60 = cos(2*pi*(1:length(ts.temp.global.mensal))/720),
sen30 = sin(2*pi*(1:length(ts.temp.global.mensal))/360),
cos30 = cos(2*pi*(1:length(ts.temp.global.mensal))/360),
sen20 = sin(2*pi*(1:length(ts.temp.global.mensal))/240),
cos20 = cos(2*pi*(1:length(ts.temp.global.mensal))/240)

Forecast.2.mensal = lm(serie ~ ., data = treino.mod.mensal)
plot(c(ts.temp.global.mensal),
     type = 'l',
     main= "Série Mensal (Série de Fourier)", #nome do título do gráfico
     ylab = "Desvio Temperatura", #indicando que o eixo x não terá labels
     xlab = "Anos",
     xaxt="none")

axis(1, at=c(0,600,1200,1800,2400,3000), labels=c(1850,1900,1950,2000,2050,2100))

lines(predict(Forecast.2.mensal), col = 'red')

teste.mod.sen.cos.mensal = data.frame(sen60 = sin(2*pi*(1:3012)/720),
                                     cos60 = cos(2*pi*(1:3012)/720),
                                     sen30 = sin(2*pi*(1:3012)/360),
                                     cos30 = cos(2*pi*(1:3012)/360),
                                     sen20 = sin(2*pi*(1:3012)/240),
                                     cos20 = cos(2*pi*(1:3012)/240))

predict.mod.sen.cos.mensal = data.frame(predict(Forecast.2.mensal,
                                              newdata = teste.mod.sen.cos.mensal,
                                              interval = "prediction"))

plot(seq(0,3012), rnorm(3013),
     ylim = c(-1,2),
     main= "Previsão", #nome do título do gráfico
     ylab = "Desvio Temperatura", #indicando que o eixo x não terá labels
     xlab = "Anos",
     lty = 3, lwd=2, col="white",
     xlim = c(0,3012),
     xaxt="none")

axis(1, at=c(0,500,1000,1500,2000,2500,3000), labels=c(1850,1892,1934,1976,2018,2060,2100))

lines(c(ts.temp.global.mensal))
lines(predict.mod.sen.cos.mensal$fit, col = "red")

#### Blend do Modelo 1 com 2 ####
treino.blend.mensal = data.frame(serie = ts.temp.global.mensal,
                               Forecast.1.mensal = predict(Forecast.1.mensal),
                               Forecast.2.mensal = predict(Forecast.2.mensal))

Forecast.3.mensal = lm(serie ~ ., data = treino.blend.mensal)
plot(c(ts.temp.global.mensal),
     type = 'l',
     main= "Blend Série Mensal (Série de Fourier + Polinomial)", #nome do título do gráfico
     ylab = "Desvio Temperatura", #indicando que o eixo x não terá labels
     xlab = "Anos",
     xaxt="none")

axis(1, at=c(0,500,1000,1500,2000,2500,3000), labels=c(1850,1892,1934,1976,2018,2060,2100))

lines(predict(Forecast.3.mensal), col = 'red')

teste.blend.mensal = data.frame(Forecast.1.mensal = predict.quad.mensal$fit,
                               Forecast.2.mensal = predict.mod.sen.cos.mensal$fit)

predict.blend.mensal = data.frame(predict(Forecast.3.mensal, newdata = teste.blend.mensal, interval = "prediction"))

plot(seq(0,3012), rnorm(3013),
     ylim = c(-1,2),
     main= "Previsão", #nome do título do gráfico
     ylab = "Desvio Temperatura", #indicando que o eixo x não terá labels
     xlab = "Anos",
     lty = 3, lwd=2, col="white",
     xlim = c(0,3012),
     xaxt="none")

axis(1, at=c(0,500,1000,1500,2000,2500,3000), labels=c(1850,1892,1934,1976,2018,2060,2100))

lines(c(ts.temp.global.mensal))
lines(predict.blend.mensal$fit, col = "red")

```

```

simultaneous_CBs <- function(linear_model, newdata, level = 0.95){
  # Working-Hotelling 1 -  $\alpha$  confidence bands for the model linear_model
  # at points newdata with  $\alpha = 1 - level$ 

  # estimate of residual standard error
  lm_summary <- summary(linear_model)
  # degrees of freedom
  p <- lm_summary$df[1]
  # residual degrees of freedom
  nmp <- lm_summary$df[2]
  # F-distribution
  Fvalue <- qf(level,p,nmp)
  # multiplier
  W <- sqrt(p*Fvalue)
  # confidence intervals for the mean response at the new points
  CI <- predict(linear_model, newdata, se.fit = TRUE, interval = "confidence",
               level = level)
  # mean value at new points
  Y_h <- CI$fit[,1]
  # Working-Hotelling 1 -  $\alpha$  confidence bands
  LB <- Y_h - W*CI$se.fit
  UB <- Y_h + W*CI$se.fit
  sim_CB <- data.frame(LowerBound = LB, Mean = Y_h, UpperBound = UB)
}

ConfBand = simultaneous_CBs(linear_model = Forecast.3.mensal, newdata = teste.blend.mensal, level = 0.9)

lines(ConfBand$LowerBound, col = "blue")
lines(ConfBand$UpperBound, col = "blue")

#### Gráfico final ####

plot(seq(0,3012), rnorm(3013),
     ylim = c(-1,2),
     main= "Previsão", #nome do título do gráfico
     ylab = "Desvio Temperatura", #indicando que o eixo x não terá labels
     xlab = "Anos",
     lty = 3, lwd=2, col="white",
     xlim = c(0,3012),
     xaxt="none")

axis(1, at=c(0,500,1000,1500,2000,2500,3000), labels=c(1850,1892,1934,1976,2018,2060,2100))

lines(c(ts.temp.global.mensal))
lines(predict.blend.mensal$fit, col = "#e6194B", lty = c(2))
lines(predict.mod.sen.cos.mensal$fit, col = "#3cb44b", lty = c(2))
lines(predict.quad.mensal$fit, col = "#4363d8", lty = c(2))

legend("topleft",
      legend=c("Blend", "Sen e Cos", "Quadrático"),
      lty=c(2,2,2),cex=0.8, col=c("#e6194B", "#3cb44b", "#4363d8")) #Inserindo a Legenda

##### ANUAL #####

#### Modelo quadrático anual ####

Forecast.1.anual = lm(Mediana ~ ., data = Temp.global.anual.reg)

plot(c(ts.temp.global.anual),
     type = 'l',
     main= "Série Com Ajuste Polinomial",
     ylab = "Desvio Temperatura",
     xlab = "Anos",
     xaxt="none")

axis(1, at=c(0,50,100,150,200,250), labels=c(1850,1900,1950,2000,2050,2100)) #Ajustando posições no gráfico

lines(predict(Forecast.1.anual), col = 'red')

teste.mod.quad = data.frame(Data_Anual = seq(1850,2100),
                          Data_Anual_2 = seq(1850,2100)^2)

predict.quad = data.frame(predict(Forecast.1.anual, newdata = teste.mod.quad, interval = "prediction"))

plot(seq(0,250), rnorm(251),
     ylim = c(-1,2),
     main= "Previsão", #nome do título do gráfico
     ylab = "Desvio Temperatura", #indicando que o eixo x não terá labels

```

```

xlab = "Anos",
lty = 3, lwd=2, col="white",
xlim = c(0,250),
xaxt = "none")
axis(1, at=c(0,50,100,150,200,250), labels=c(1850,1900,1950,2000,2050,2100)) #Ajustando posições no gráfico

lines(c(ts.temp.global.anual))
lines(predict.quad$fit, col = "red")
lines(predict.quad$lwr, col = "gray")
lines(predict.quad$upr, col = "gray")

#### Modelo decomposto em seno e cosseno ####

treino.mod.anual = data.frame(serie = ts.temp.global.anual,
                             sen60 = sin(2*pi*(1:length(ts.temp.global.anual))/60),
                             cos60 = cos(2*pi*(1:length(ts.temp.global.anual))/60),
                             sen30 = sin(2*pi*(1:length(ts.temp.global.anual))/30),
                             cos30 = cos(2*pi*(1:length(ts.temp.global.anual))/30),
                             sen20 = sin(2*pi*(1:length(ts.temp.global.anual))/20),
                             cos20 = cos(2*pi*(1:length(ts.temp.global.anual))/20))

Forecast.2.anual = lm(serie ~ ., data = treino.mod.anual)

plot(c(ts.temp.global.anual),
     type = 'l',
     main= "Série Anual (Série de Fourier)",
     ylab = "Desvio Temperatura",
     xlab = "Anos",
     yaxt="none")

axis(1, at=c(0,50,100,150,200,250), labels=c(1850,1900,1950,2000,2050,2100)) #Ajustando posições no gráfico

lines(predict(Forecast.2.anual), col = 'red')

teste.mod.sen.cos = data.frame(sen60 = sin(2*pi*(1:251)/60),
                               cos60 = cos(2*pi*(1:251)/60),
                               sen30 = sin(2*pi*(1:251)/30),
                               cos30 = cos(2*pi*(1:251)/30),
                               sen20 = sin(2*pi*(1:251)/20),
                               cos20 = cos(2*pi*(1:251)/20))

predict.mod.sen.cos = data.frame(predict(Forecast.2.anual, newdata = teste.mod.sen.cos, interval = "prediction"))

plot(seq(0,250), rnorm(251),
     ylim = c(-1,2),
     main= "Previsão",
     ylab = "Desvio Temperatura",
     xlab = "Anos",
     lty = 3, lwd=2, col="white",
     xlim = c(0,250),
     yaxt="none")
axis(1, at=c(0,50,100,150,200,250), labels=c(1850,1900,1950,2000,2050,2100)) #Ajustando posições no gráfico

lines(c(ts.temp.global.anual))
lines(predict.mod.sen.cos$fit, col = "red")

#### Blend do Modelo 1 com 2 ####

treino.blend.anual = data.frame(serie = ts.temp.global.anual,
                               Forecast.1.anual = predict(Forecast.1.anual),
                               Forecast.2.anual = predict(Forecast.2.anual))

Forecast.3.anual = lm(serie ~ ., data = treino.blend.anual)
plot(c(ts.temp.global.anual),
     type = 'l',
     main= "Blend Série Anual (Série de Fourier + Polinomial)",
     ylab = "Desvio Temperatura",
     xlab = "Anos",
     yaxt="none")

axis(1, at=c(0,50,100,150,200,250), labels=c(1850,1900,1950,2000,2050,2100)) #Ajustando posições no gráfico

lines(predict(Forecast.3.anual), col = 'red')

teste.blend.anual = data.frame(Forecast.1.anual = predict.quad$fit,
                               Forecast.2.anual = predict.mod.sen.cos$fit)

predict.blend.anual = data.frame(predict(Forecast.3.anual, newdata = teste.blend.anual, interval = "prediction"))

```

```

plot(seq(0,250), rnorm(251),
     ylim = c(-1,2),
     main= "Previsão",
     ylab = "Desvio Temperatura",
     xlab = "Anos",
     lty = 3, lwd=2, col="white",
     xlim = c(0,250),
     xaxt="none")

axis(1, at=c(0,50,100,150,200,250), labels=c(1850,1900,1950,2000,2050,2100)) #Ajustando posições no gráfico

lines(c(ts.temp.global.anual))
lines(predict.blend.anual$fit, col = "#e6194b",lty = c(2))
lines(predict.mod.sen.cos$fit, col = "#3cb44b",lty = c(2))
lines(predict.quad$fit, col = "#4363d8",lty = c(2))

legend("topleft",
       legend=c("Blend", "Sen e Cos", "Quadrático"),
       lty=c(2,2,2),cex=0.8, col=c("#e6194b", "#3cb44b", "#4363d8")) #Inserindo a Legenda

#### Blend do modelo com a série natural ####

#### Modelo quadratico anual ajustado para a serie natural (a partir de 1860)
Temp.reg.nat = Temp.global.anual.reg[11:162,]
ts.temp.nat = window(ts.temp.global.anual,start = 1860, end = 2011,frequency = 1)

#### Ajustando o modelo
Forecast.1.nat = lm(Mediana ~ ., data = Temp.reg.nat)
plot(c(ts.temp.nat), type = 'l')
lines(predict(Forecast.1.nat), col = 'red')

#### Criando o dataframe de teste
teste.mod.nat = data.frame(Data_Anual = seq(1860,2100),
                          Data_Anual_2 = seq(1860,2100)^2)

#### Realizando a previsão
predict.nat = data.frame(predict(Forecast.1.nat, newdata = teste.mod.nat, interval = "prediction"))

#### Verificando o ajuste do modelo quadrático
plot(seq(0,240), rnorm(241),
     ylim = c(-1,2),
     main= "Previsão", #nome do título do gráfico
     ylab = "Desvio Temperatura", #indicando que o eixo x não terá labels
     xlab = "Anos",
     lty = 3, lwd=2, col="white",
     xlim = c(0,240),
     xaxt = "none")
axis(1,
     at=c(0,40,90,140,190,240),
     labels=c(1860,1900,1950,2000,2050,2100)) #Ajustando posicoes no gráfico

lines(c(ts.temp.nat))
lines(predict.nat$fit, col = "red")
lines(predict.nat$lwr, col = "blue")
lines(predict.nat$upr, col = "blue")

#### Agrupando os dados anuais

Temp.natural = natural %>%
  group_by(Ano) %>%
  summarise(Mediana = median(Desvio)) %>%
  as.data.frame()

Temp.natural = Temp.natural[1:162,]

#### Criando um dataframe com os dados do ajuste quadrático e a série natural
treino.blend.nat = data.frame(serie = ts.temp.nat,
                             Forecast.1.nat = predict(Forecast.1.nat),
                             Natural = Temp.natural$Mediana)

#### Ajustando o modelo com esses dados
Forecast.3.nat = lm(serie ~ ., data = treino.blend.nat)

#### Verificando o ajuste
plot(c(ts.temp.nat),
     type = 'l',
     main= "Blend Série Anual (Série Natural + Polinomial)",
     ylab = "Desvio Temperatura",

```

```

xlab = "Anos",
xaxt="none")

axis(1, at=c(0,50,100,150,200,250), labels=c(1850,1900,1950,2000,2050,2100)) #Ajustando posicoes no gr?fico

lines(predict(Forecast.3.nat), col = 'red')

#### Agrupando os dados para previs?o
Temp.natural.fit = natural %>%
  group_by(Ano) %>%
  summarise(Mediana = median(Desvio)) %>%
  as.data.frame()

#### Organizando o banco de dados com o per?odo que queremos prever

teste.blend.nat = data.frame(Forecast.1.nat = predict.nat$fit,
                             Natural = Temp.natural.fit$Mediana)

predict.blend.nat = data.frame(predict(Forecast.3.nat, newdata = teste.blend.nat, interval = "prediction"))

#### Verificando o ajuste do modelo
plot(seq(0,240), rnorm(241),
      ylim = c(-1,2),
      main= "Previs?o",
      ylab = "Desvio Temperatura",
      xlab = "Anos",
      lty = 3, lwd=2, col="white",
      xlim = c(0,240),
      xaxt="none")

axis(1,
      at=c(0,40,90,140,190,240),
      labels=c(1860,1900,1950,2000,2050,2100)) #Ajustando posicoes no gr?fico

lines(c(ts.temp.nat))
lines(predict.blend.nat$fit, col = "#3cb44b")
lines(predict.blend.nat$lwr, col = "gray")
lines(predict.blend.nat$upr, col = "gray")
lines(predict.nat$fit, col = "#e6194b")

legend("topleft",
       legend=c("Natural + Quadr?tico","Quadr?tico"),
       lty=c(2,2,2),cex=0.8, col=c("#e6194b", "#3cb44b")) #Inserindo a Legenda

```

## H.2.2. C?digos de an?lise da temperatura – BRASIL

### H.2.2.1. ETAPA 1 – An?lise Descritiva e Remo?o de Tend?ncia

```

#####.#
####          Temperatura no Brasil (BEST)          #####
####          #####
####          ETAPA 01          #####
#### AN?LISE DESCRITIVA E REMO?O DE TEND?NCIA #####
####          #####
#####.#

#####.#
#### Carregamento dos pacotes utilizados #####
#####.#

#### Instalando e carregando pacotes para abrir arquivo em formato de excel
install.packages("readxl")
library("readxl")
library("xlsx")

#### Carregando pacote para manipula?o e estrutura?o de dados
library("dplyr")

#### Instalando e carregando pacote de t?cnica de an?lise espectral - Periodograma Multitaper
install.packages("multitaper")
install.packages("psd")

```

```

library("multitaper")
library("psd")

#### Instalando e carregando pacote de técnica de análise espectral - Periodograma de Lomb
install.packages("lomb")
library("lomb")

#### Instalando e carregando pacote de técnica de análise espectral - Periodograma de Máxima Entropia
install.packages("ssa", repos="http://R-Forge.R-project.org")
library("ssa")
#library("bspec")

#### carregando pacote para suavização e previsão de valores da série
library(splines)

#### carregando pacote para geração de gráficos
library(ggplot2)

#### Alterando a opção do R para desativar notação científica
options(scipen = 999)

#####.#
#### Manipulação do Banco de Dados #####
#####.#

#### Especificando o local na qual está armazenado o banco de dados
setwd("E:\\TESE\\Dados\\Banco de dados - R")

#### Fazendo a leitura dos dados
Temp.BR.mensal = read_excel("E:\\TESE\\Dados\\BEST - Temperatura Brasil\\BEST-Brasil_mensal.xlsx", "best")

#### Criando uma coluna apenas com o ano de cada observação da série
Temp.BR.mensal$Data_Anual = gsub("/", "*",
                                "",
                                Temp.BR.mensal$Data_Mensal)

#### Visualizando os 5 primeiros registros
head(Temp.BR.mensal)

#### Visualizando os 5 últimos registros
tail(Temp.BR.mensal)

#### Criando o banco de dados com a temperatura anual através da mediana
Temp.BR.anual = Temp.BR.mensal %>%
  group_by(Data_Anual) %>%
  summarise(Mediana = median(Desvio)) %>%
  as.data.frame()

#### Retirando os registros depois de 2012 em diante
Temp.BR.anual = Temp.BR.anual[1:162,]

#### Transformando a data em numérica
Temp.BR.anual$Data_Anual = as.numeric(Temp.BR.anual$Data_Anual)

#### Deletando a data anual do banco de dados mensal
Temp.BR.mensal$Data_Anual = NULL

#####.#
#### Transformação em série temporal #####
#####.#

#### Transformando o banco de dados em um formato de série temporal, cuja frequência é anual
ts.temp.BR.anual = ts(Temp.BR.anual$Mediana,
                      frequency = 1,
                      start = c(1850),
                      end = c(2011))

#### Transformando o banco de dados em um formato de série temporal, cuja frequência é mensal
ts.temp.BR.mensal = ts(Temp.BR.mensal$Desvio,
                       frequency = 12,
                       start = c(1850,1),
                       end = c(2011,5))

#par(mfrow=c(1,2)) #Dois gráficos um ao lado do outro

#### Plotando o gráfico da série mensal
ts.plot(ts.temp.BR.mensal,
        xlab = "Ano", ylab = "Desvio",
        main = "BEST - Desvio de temperatura mensal")

```

```

#### Plotando o gráfico da série mensal
ts.plot(ts.temp.BR.anual,
        xlab = "Ano", ylab = "Desvio",
        main = "BEST - Desvio de temperatura anual")
dev.off()

#####.#
#### Retirando tendência usando DIFF ####
#####.#

par(mfrow=c(1,2))
#### Retirando a tendência usando diferenciação da série mensal
diff.ts.temp.BR.anual = diff(ts.temp.BR.anual,1)
ts.plot(diff.ts.temp.BR.anual,
        xlab = "Ano", ylab = "Desvio",
        main = "BEST - Desvio de temperatura anual (diff)")

#### Retirando a tendência usando diferenciação da série anual
diff.ts.temp.BR.mensal = diff(ts.temp.BR.mensal,1)
ts.plot(diff.ts.temp.BR.mensal,
        xlab = "Ano", ylab = "Desvio",
        main = "BEST - Desvio de temperatura mensal (diff)")

#####.#
#### Retirando tendência usando ajuste polinomial ####
#####.#

#### Criando um novo banco de dados para retirar a tendência usando regressão na série anual
Temp.BR.anual.reg = Temp.BR.anual

#### Fazendo o ajuste polinomial na data
Temp.BR.anual.reg$Data_Anual_2 = (Temp.BR.anual.reg$Data_Anual)^2

#### Criando um novo banco de dados para retirar a tendência usando regressão na série BR
Temp.BR.mensal.reg = Temp.BR.mensal[1:1937,]

#### Criando um novo banco de dados para retirar a tendência usando regressão na série anual
Temp.BR.anual.reg = Temp.BR.anual

#### Fazendo o ajuste polinomial na data
Temp.BR.anual.reg$Data_Anual_2 = (Temp.BR.anual.reg$Data_Anual)^2

#### Criando um novo banco de dados para retirar a tendência usando regressão na série mensal
Temp.BR.mensal.reg = Temp.BR.mensal[1:1937,]

#### Retirando o mês da variável com a data
Temp.BR.mensal.reg$Data_Mensal = gsub("/.*", "", Temp.BR.mensal.reg$Data_Mensal)

#### Transformando a data em formato numérico
Temp.BR.mensal.reg$Data_Mensal = as.numeric(Temp.BR.mensal.reg$Data_Mensal)

#### Fazendo o ajuste polinomial na data
Temp.BR.mensal.reg$Data_Mensal_2 = (Temp.BR.mensal.reg$Data_Mensal)^2

#### Ajustando o modelo de regressão polinomial na série anual
quadratic.model.anual.BR = lm(Mediana ~ Data_Anual + Data_Anual_2,
                             data = Temp.BR.anual.reg)

#### Verificando os resultados
summary(quadratic.model.anual.BR)

#### Ajustando o modelo de regressão polinomial na série mensal
quadratic.model.mensal.BR = lm(Desvio ~ Data_Mensal + Data_Mensal_2,
                              data = Temp.BR.mensal.reg)

#### Verificando os resultados
summary(quadratic.model.mensal.BR)

dev.off()
#par(mfrow=c(1,2))

#### Criando o gráfico da série anual
ts.plot(ts.temp.BR.anual,
        xlab = "Ano", ylab = "Desvio",
        main = "Serie Anual Apos Ajuste Polinomial")

#### Adicionando o modelo ajustado anteriormente para verificar a coerência na série

```



```

points(Temp.BR.anual.reg$Data_Anual, predict(quadratic.model.anual.BR), type="l", col = "darkred")

### OBS: estava dando o erro:
### "Error in xy.coords(x, y) : 'x' and 'y' lengths differ"
### Solução: preencher falhas na série original (ou apagar um ponto na regressão?)

#### Adicionando a fórmula do modelo ajustado no gráfico
text(1900, 1, expression(yt == 112.83 - 0.125*t + 0.000034*t^2))

#### Criando o gráfico da série mensal
ts.plot(ts.temp.BR.mensal,
        xlab = "Ano", ylab = "Desvio",
        main = "Serie Mensal Apos Ajuste Polinomial")

#### Adicionando o modelo ajustado anteriormente para verificar a coerência na série
points(Temp.BR.mensal.reg$Data_Mensal, predict(quadratic.model.mensal.BR), type="l", col = "darkred")

#### Adicionando a fórmula do modelo ajustado no gráfico
text(1900, 1.5, expression(yt == 141.12 - 0.154*t + 0.000042*t^2))

#### Utilizando os resíduos, sendo a série estacionaria tanto para anual quanto para mensal
poli.temp.BR.anual = quadratic.model.anual.BR$residuals
poli.temp.BR.mensal = quadratic.model.mensal.BR$residuals

#### Transformando os residuos no formato da série temporal anual
ts.poli.temp.BR.anual = ts(poli.temp.BR.anual,
                          frequency = 1,
                          start = c(1850),
                          end = c(2011))

ts.poli.temp.BR.mensal = ts(poli.temp.BR.mensal,
                           frequency = 12,
                           start = c(1850,1),
                           end = c(2011,5))

dev.off()
#par(mfrow=c(1,2))

#### Criando o gráfico para verificar a série estacionária anual
ts.plot(ts.poli.temp.BR.anual,
        xlab = "Tempo",
        ylab = "Residuos",
        main = "Serie anual sem tendencia usando polinomio")

#### Criando o gráfico para verificar a série estacionária mensal
ts.plot(ts.poli.temp.BR.mensal,
        xlab = "Tempo",
        ylab = "Residuos",
        main = "Serie mensal sem tendencia usando polinomio")

```

### H.2.2.2. ETAPA 2 – Análises Espectrais

```

#####.#
####
####   Temperatura no Brasil (BEST)   ####
####                                     ####
####           ETAPA 02                ####
####   ANÁLISES ESPECTRAIS           ####
####                                     ####
#####.#

#####
#### Periodograma - Método de Lomb-Scargle ####
#####

##### MENSAL #####

#### Ajustando um modelo de regressao de acordo com os dados
linear.BR.model.mensal = lm(Desvio ~ Data_Mensal, data = Temp.BR.mensal.reg)
summary(linear.BR.model.mensal)

ts.plot(ts.temp.BR.mensal)
points(Temp.BR.mensal.reg$Data_Mensal,
       predict(linear.BR.model.mensal),

```



```

quadratic.lsp.temp.BR.frequency.anual = lsp(ts.poli.temp.BR.anual,
                                           ofac=5,
                                           plot = TRUE,
                                           alpha = 0.1)
quadratic.lsp.temp.BR.period.anual    = lsp(ts.poli.temp.BR.anual,
                                           ofac=5,
                                           plot = TRUE,
                                           alpha = 0.1,
                                           type = "period")

linear.lsp.temp.BR.frequency.anual$peak.at
quadratic.lsp.temp.BR.frequency.anual$peak.at

#### Organizando os dados e salvando para criar um único gráfico com todos os métodos "Gráficos.R"

periodicidade.lomb.BR.anual = data.frame(power.x = quadratic.lsp.temp.BR.period.anual$power,
                                         periodo = quadratic.lsp.temp.BR.period.anual$scanned)

order.BR.lomb.anual = periodicidade.lomb.BR.anual[order(-periodicidade.lomb.BR.anual$periodo),]

#####
#### Periodograma - Método Multi taper ####
#####

#### Utilizando algoritmo spec.mtm para serie mensal com o intuito de verificar periodicidade

resSpec.BR.mensal = spec.mtm(ts.poli.temp.BR.mensal,
                            nw=2,
                            k=4,
                            Ftest = TRUE,
                            plot = F,
                            deltat=1.0,
                            dtUnits="month")

dev.off()
plot(resSpec.BR.mensal,
     Ftest=TRUE,
     siglines=c(0.90, 0.99))

resSpec2.BR.mensal = spec.mtm(ts.poli.temp.BR.mensal,
                             nw=2,
                             k=4,
                             Ftest=TRUE,
                             jackknife=TRUE,
                             plot=FALSE,
                             deltat=1.0,
                             dtUnits="month")

plot(resSpec2.BR.mensal, jackknife = F)

#### Organizando os dados e salvando para criar o periodograma em escala logaritmica no arquivo "GrÃfÃ¡ficos.R"

periodicidade.BR.spec.mtm.mensal = data.frame(freq = resSpec2.BR.mensal$freq,
                                             spec = resSpec2.BR.mensal$spec)

order.BR.spec.mtm.mensal = periodicidade.BR.spec.mtm.mensal[order(-periodicidade.BR.spec.mtm.mensal$spec),]

top.BR.spec.mtm.mensal = head(order.BR.spec.mtm.mensal,10)

top.BR.spec.mtm.mensal$periodicidade = 1/top.BR.spec.mtm.mensal$freq

#### Utilizando algoritmo spec.mtm para serie anual com o intuito de verificar periodicidade

resSpec.BR.anual = spec.mtm(ts.poli.temp.BR.anual,
                            nw=2,
                            k=4,
                            Ftest = TRUE,
                            plot = F,
                            deltat=1.0,
                            dtUnits="month")
plot(resSpec.BR.anual, Ftest=TRUE, siglines=c(0.90, 0.99))

resSpec2.BR.anual = spec.mtm(ts.poli.temp.BR.anual,
                             nw=2,
                             k=4,
                             Ftest=TRUE,
                             jackknife=TRUE,
                             plot=FALSE,

```

```

                                deltat=1.0, dtUnits="month")
plot(resSpec2.BR.anual, jackknife = F)

##### Organizando os dados e salvando para criar o periodograma em escala logaritmica no arquivo "GrÃfÃ;ficos.R"

periodicidade.BR.spec.mtm.anual = data.frame(freq = resSpec.BR.anual$freq,
                                             spec = resSpec.BR.anual$spec)

order.BR.spec.mtm.anual = periodicidade.BR.spec.mtm.anual[order(-periodicidade.BR.spec.mtm.anual$spec),]

top.BR.spec.mtm.anual = head(order.BR.spec.mtm.anual,10)

top.BR.spec.mtm.anual$periodicidade = 1/top.BR.spec.mtm.anual$freq

##### Utilizando algoritmo pspectrum mensal com o intuito de verificar periodicidade

mtpsd.BR.mensal <- pspectrum(ts.poli.temp.BR.mensal, plot=F)
PSDc.BR.recovered.mensal <- psd_envGet("mtpsd.BR.mensal")
plot(PSDc.BR.recovered.mensal)

##### Organizando os dados e salvando para criar o periodograma em escala logaritmica no arquivo "GrÃfÃ;ficos.R"

periodicidade.BR.pspectrum.mensal = data.frame(freq = mtpsd.BR.mensal$freq,
                                             spec = mtpsd.BR.mensal$spec)

order.BR.pspectrum.mensal = periodicidade.BR.pspectrum.mensal[order(-periodicidade.BR.pspectrum.mensal$spec),]
top.BR.pspectrum.mensal = head(order.BR.pspectrum.mensal,10)
top.BR.pspectrum.mensal$periodicidade = 1/top.BR.pspectrum.mensal$freq

##### Utilizando algoritmo pspectrum anual com o intuito de verificar periodicidade

mtpsd.BR.anual <- pspectrum(ts.poli.temp.BR.anual, plot=F)
PSDc_recovered.BR.anual <- psd_envGet("mtpsd.BR.anual")
plot(PSDc_recovered.BR.anual)

##### Organizando os dados e salvando para criar o periodograma em escala logaritmica no arquivo "GrÃfÃ;ficos.R"

periodicidade.BR.pspectrum.anual = data.frame(freq = mtpsd.BR.anual$freq,
                                             spec = mtpsd.BR.anual$spec)

order.BR.pspectrum.anual = periodicidade.BR.pspectrum.anual[order(-periodicidade.BR.pspectrum.anual$spec),]
top.BR.pspectrum.anual = head(order.BR.pspectrum.anual,10)
top.BR.pspectrum.anual$periodicidade = 1/top.BR.pspectrum.anual$freq

##### Utilizando algoritmo spectrum mensal #####

spectrum.BR.stat.mensal = spectrum(ts.temp.BR.mensal, col="gray")
spectrum.BR.stat.mensal2 = spectrum(ts.temp.BR.mensal, spans = c(2,4))

##### Organizando os dados e salvando para criar o periodograma em escala logaritmica no arquivo "GrÃfÃ;ficos.R"

periodicidade.BR.spectrum.mensal = data.frame(freq = spectrum.BR.stat.mensal$freq,
                                             spec = spectrum.BR.stat.mensal$spec)

order.BR.spectrum.mensal = periodicidade.BR.spectrum.mensal[order(-periodicidade.BR.spectrum.mensal$spec),]
top.BR.spectrum.mensal = head(order.BR.spectrum.mensal,10)
top.BR.spectrum.mensal$periodicidade = 1/top.BR.spectrum.mensal$freq

##### Utilizando algoritmo spectrum anual #####

spectrum.BR.stat.anual = spectrum(ts.temp.BR.anual, col="gray")
spectrum.BR.stat.anual2 = spectrum(ts.temp.BR.anual, spans = c(2,4))

##### Organizando os dados e salvando para criar o periodograma em escala logaritmica no arquivo "GrÃfÃ;ficos.R"

periodicidade.BR.spectrum.anual = data.frame(freq = spectrum.BR.stat.anual$freq,
                                             spec = spectrum.BR.stat.anual$spec)

order.BR.spectrum.anual = periodicidade.BR.spectrum.anual[order(-periodicidade.BR.spectrum.anual$spec),]
top.BR.spectrum.anual = head(order.BR.spectrum.anual,10)
top.BR.spectrum.anual$periodicidade = 1/top.BR.spectrum.anual$freq

##### Utilizando algoritmo spec.ar mensal #####

spec.ar1.BR.mensal = spec.ar(ts.poli.temp.BR.mensal, method = "burg", plot = TRUE, col = "purple")

```

```

spec.ar2.BR.mensal = spec.ar(ts.poli.temp.BR.mensal, method = "mle", plot = TRUE, col = "forest green")

##### Organizando os dados e salvando para criar o periodograma em escala logaritmica no arquivo "GrÃfÃficos.R"

periodicidade.spec.ar1.BR.mensal = data.frame(freq = spec.ar1.BR.mensal$freq,
                                             spec = spec.ar1.BR.mensal$spec)

order.spec.ar1.BR.mensal = periodicidade.spec.ar1.BR.mensal[order(-periodicidade.spec.ar1.BR.mensal$spec),]
top.spec.ar1.BR.mensal = head(order.spec.ar1.BR.mensal,10)
top.spec.ar1.BR.mensal$periodicidade = 1/top.spec.ar1.BR.mensal$freq

##### Utilizando algoritmo spec.ar anual #####

spec.ar1.BR.anual = spec.ar(ts.poli.temp.BR.anual, method = "burg", plot = TRUE, col = "purple")
spec.ar2.BR.anual = spec.ar(ts.poli.temp.BR.anual, method = "mle", plot = TRUE, col = "forest green")

##### Organizando os dados e salvando para criar o periodograma em escala logaritmica no arquivo "GrÃfÃficos.R"

periodicidade.spec.ar1.BR.anual = data.frame(freq = spec.ar1.BR.anual$freq,
                                             spec = spec.ar1.BR.anual$spec)

order.spec.ar1.BR.anual = periodicidade.spec.ar1.BR.anual[order(-periodicidade.spec.ar1.BR.anual$spec),]
top.spec.ar1.BR.anual = head(order.spec.ar1.BR.anual,10)
top.spec.ar1.BR.anual$periodicidade = 1/top.spec.ar1.BR.anual$freq

##### Utilizando algoritmo mem.spec mensal #####

mem.spec <- function(y, ord=5,... ) {
  ## INPUT ##
  ## y = SÃrie de interesse
  ## Ordem se uma sÃrie AR

  y <- y - mean(y)
  T <- length(y)
  if ( ord >= T ) stop("The length of the window is longer than the data")

  sp<-spec.ar(y, method="burg",aic=FALSE, order=ord,...)
  return(sp)
}

spec.BR.mem.mensal = mem.spec(ts.poli.temp.BR.mensal,ord=200)

##### Organizando os dados e salvando para criar o periodograma em escala logaritmica no arquivo "GrÃfÃficos.R"

periodicidade.spec.BR.mem.mensal = data.frame(freq = spec.BR.mem.mensal$freq,
                                             spec = spec.BR.mem.mensal$spec)

order.spec.BR.mem.mensal = periodicidade.spec.BR.mem.mensal[order(-periodicidade.spec.BR.mem.mensal$spec),]
top.spec.BR.mem.mensal = head(order.spec.BR.mem.mensal,10)
top.spec.BR.mem.mensal$periodicidade = 1/top.spec.BR.mem.mensal$freq

##### Utilizando algoritmo mem.spec anual #####

spec.BR.mem.anual = mem.spec(ts.poli.temp.BR.anual,ord=30)

##### Organizando os dados e salvando para criar o periodograma em escala logaritmica no arquivo "GrÃfÃficos.R"

periodicidade.spec.BR.mem.anual = data.frame(freq = spec.BR.mem.anual$freq,
                                             spec = spec.BR.mem.anual$spec)

order.spec.BR.mem.anual = periodicidade.spec.BR.mem.anual[order(-periodicidade.spec.BR.mem.anual$spec),]
top.spec.BR.mem.anual = head(order.spec.BR.mem.anual,20)
top.spec.BR.mem.anual$periodicidade = 1/top.spec.BR.mem.anual$freq

##### Periodograma - MÃtodo Fast Fourier Transform (FFT) #####
##### MENSAL #####

##### Separando espaco para dois graficos
par(mfrow=c(2,1), mar=c(3,3,1,1), mgp=c(1.6,.6,0))

##### Calculos para obtencao do espectro utilizando o pacote FFT
n.BR.mensal = length(ts.poli.temp.BR.mensal)
I.BR.mensal = abs(fft(ts.poli.temp.BR.mensal)/sqrt(n.BR.mensal))^2
P.BR.mensal = I.BR.mensal*4/n.BR.mensal

##### Grafico da serie original

```

```

ts.plot(ts.poli.temp.BR.mensal)

##### Plot do periodograma sem duplicacao

freq.BR.mensal = (8:(n.BR.mensal/2))/n.BR.mensal
plot(freq.BR.mensal,
      P.BR.mensal[1:(n.BR.mensal/2+1)],
      type="l",
      xlab="Frequencia",
      ylab="Periodograma Escalado")

order.fft.BR.mensal.1 = data.frame(Freq = freq.BR.mensal,
                                  Amplitude = P.BR.mensal[1:(n.BR.mensal/2+1)])

##### Teste de Fisher para verificar se o Periodograma eh ruido brando ou se existem frequencias que se destacam

saI.BR.mensal = cbind(1/freq.BR.mensal,P.BR.mensal[1:(n.BR.mensal/2+1)])
Periodograma.BR.mensal = P.BR.mensal[1:(n.BR.mensal/2+1)]
g.BR.mensal = max(Periodograma.BR.mensal)/sum(Periodograma.BR.mensal) ; g.BR.mensal
alfa.BR.mensal = n.BR.mensal*(1-g.BR.mensal)^(n.BR.mensal-1) ; alfa.BR.mensal

##### Organizando os dados e salvando para criar o periodograma em escala logaritmica no arquivo "Graficos.R"

periodicidade.fft.BR.mensal = data.frame(freq = freq.BR.mensal,
                                          spec = Periodograma.BR.mensal)

order.fft.BR.mensal = periodicidade.fft.BR.mensal[order(-periodicidade.fft.BR.mensal$spec),]
top.fft.BR.mensal = head(order.fft.BR.mensal,10)
top.fft.BR.mensal$periodicidade = 1/top.fft.BR.mensal$freq

##### ANUAL #####

##### Separando espaco para dois graficos
par(mfrow=c(2,1), mar=c(3,3,1,1), mgp=c(1.6,.6,0))

##### Calculos para obtencao do espectro utilizando o pacote FFT
n.BR.anual = length(ts.poli.temp.BR.anual)
I.BR.anual = abs(fft(ts.poli.temp.BR.anual)/sqrt(n.BR.anual))^2
P.BR.anual = I.BR.anual*4/n.BR.anual

##### Grafico da serie original
ts.plot(ts.poli.temp.BR.anual)

##### Plot do periodograma sem duplicacao
freq.BR.anual = (8:(n.BR.anual/2))/n.BR.anual
plot(freq.BR.anual,
      P.BR.anual[1:(n.BR.anual/2+1)],
      type="l",
      xlab="Frequencia",
      ylab="Periodograma Escalado")

##### Teste de Fisher para verificar se o Periodograma Ã© ruido brando ou se existem frequencias que se destacam
saI.BR.anual = cbind(1/freq.BR.anual,P.BR.anual[1:(n.BR.anual/2+1)])
Periodograma.BR.anual = P.BR.anual[1:(n.BR.anual/2+1)]
g.BR.anual = max(Periodograma.BR.anual)/sum(Periodograma.BR.anual) ; g.BR.anual
alfa.BR.anual = n.BR.anual*(1-g.BR.anual)^(n.BR.anual-1) ; alfa.BR.anual

periodicidade.fft.BR.anual = data.frame(freq = freq.BR.anual,
                                          spec = Periodograma.BR.anual)

order.fft.BR.anual = periodicidade.fft.BR.anual[order(-periodicidade.fft.BR.anual$spec),]
top.fft.BR.anual = head(order.fft.BR.anual,10)
top.fft.BR.anual$periodicidade = 1/top.fft.BR.anual$freq

##### ManipulaÃ§Ã£o do Banco de Dados #####

##### Ajustando as sÃ©ries, retirando valores desnecessÃ¡rios
order.fft.BR.anual = order.fft.BR.anual[-nrow(order.fft.BR.anual),]
order.spec.BR.mem.anual = order.spec.BR.mem.anual[-165,]
order.BR.lomb.anual = order.BR.lomb.anual

##### Padronizando os valores do eixo y, o spectrum para ficarem na mesma escala
y.serie.BR.fft.anual = (order.fft.BR.anual$spec-mean(order.fft.BR.anual$spec))/sd(order.fft.BR.anual$spec)
y.serie.spec.BR.mem.anual = (order.spec.BR.mem.anual$spec-mean(order.spec.BR.mem.anual$spec))/sd(order.spec.BR.mem.anual$spec)
y.serie.BR.spectrum.anual = (order.BR.spectrum.anual$spec-mean(order.BR.spectrum.anual$spec))/sd(order.BR.spectrum.anual$spec)
y.serie.BR.lomb.anual = (order.BR.lomb.anual$power.x-mean(order.BR.lomb.anual$power.x))/sd(order.BR.lomb.anual$power.x)

```

```

#### Ajustando os valores do eixo x, a periodicidade, para ficarem na mesma escala
x.order.fft.BR.anual = log(1/order.fft.BR.anual$freq)
order.spec.BR.mem.anual$freq[152] <- 10e-10
x.order.spec.BR.mem.anual = log(1/order.spec.BR.mem.anual$freq)
x.order.BR.spectrum.anual = log(1/order.BR.spectrum.anual$freq)
x.order.BR.lomb.anual = log(order.BR.lomb.anual$periodo)

#### Prevendo esses valores da serie
yy.serie.BR.fft.anual = predict(interpSpline(x.order.fft.BR.anual, y.serie.BR.fft.anual))
yy.serie.spec.BR.mem.anual = predict(interpSpline(x.order.spec.BR.mem.anual, y.serie.spec.BR.mem.anual))
yy.serie.BR.spectrum.anual = predict(interpSpline(x.order.BR.spectrum.anual, y.serie.BR.spectrum.anual))
yy.serie.BR.lomb.anual = predict(interpSpline(x.order.BR.lomb.anual, y.serie.BR.lomb.anual))

#### Criando os intervalos de confiança para plotar junto ao gráfico
#### O ideal já explicado era tirar o maior ponto e refazer os intervalos
#### Porém foi repassado para fazermos o intervalo com todos os métodos juntos
#### e uma só vez, assim foi feito.

n.out <- max(order.fft.BR.anual$freq)
ofac = 5
effm <- 2 * n.out/ofac

level.fft.001 <- -log(1 - (1 - 0.01)^(1/effm))
level.fft.005 <- -log(1 - (1 - 0.05)^(1/effm))
level.fft.010 <- -log(1 - (1 - 0.10)^(1/effm))

#### Gráficos individuais
dev.off()
par(mfrow=c(2,2))
#### fft
plot(x.order.fft.BR.anual,
     y.serie.BR.fft.anual,
     ylim = c(-1,6),
     xlim = c(0,5.5),
     main= "Periodograma (fft)", #nome do título do gráfico
     ylab = "Spectrum Normalized",
     xlab = "Período (anos)", lty = 3, lwd=2, col="white",
     xaxt = "n"
)

axis(1,
     at=1:6,
     labels=c(round(exp(1),1),
              round(exp(2),1),
              round(exp(3),1),
              round(exp(4),1),
              round(exp(5),1),
              round(exp(6),1))) #Ajustando posições no gráfico

lines(yy.serie.BR.fft.anual, col="#e6194B", lwd=2)

#### mem
plot(x.order.spec.BR.mem.anual,
     y.serie.spec.BR.mem.anual,
     ylim = c(-1,5),
     xlim = c(0,5.5),
     main= "Periodograma (mem)", #nome do título do gráfico
     ylab = "Spectrum Normalized",
     xlab = "Período (anos)", lty = 3, lwd=2, col="white",
     xaxt = "n"
)

axis(1,
     at=1:6,
     labels=c(round(exp(1),1),
              round(exp(2),1),
              round(exp(3),1),
              round(exp(4),1),
              round(exp(5),1),
              round(exp(6),1))) #Ajustando posições no gráfico

lines(yy.serie.spec.BR.mem.anual, col="purple", lwd=2)

#### spectrum
plot(x.order.BR.spectrum.anual,
     y.serie.BR.spectrum.anual,
     ylim = c(-1,7),
     xlim = c(0,5.5),
     main= "Periodograma (MM)", #nome do título do gráfico

```

```

ylab = "Spectrum Normalized",
xlab = "Período (anos)", lty = 3, lwd=2, col="white",
xaxt = "n"
)

axis(1, at=1:6, labels=c(round(exp(1),1),round(exp(2),1),round(exp(3),1),round(exp(4),1),round(exp(5),1),round(exp(6),1))) #Ajustando
posições no gráfico
lines(yy.serie.BR.spectrum.anual, col="blue", lwd=2)

#### lomb
plot(x.order.BR.lomb.anual,
y.serie.BR.lomb.anual,
ylim = c(-1,6),
xlim = c(0,5.5),
main= "Periodograma (lomb)", #nome do titulo do gráfico
ylab = "Spectrum Normalized",
xlab = "Período (anos)", lty = 3, lwd=2, col="white",
xaxt = "n"
)

axis(1, at=1:6, labels=c(round(exp(1),1),round(exp(2),1),round(exp(3),1),round(exp(4),1),round(exp(5),1),round(exp(6),1))) #Ajustando
posições no gráfico
lines(yy.serie.BR.lomb.anual, col="black", lwd=2)

dev.off()
#par(oma = c(0, 0, 0, 1), mar = c(5, 4, 4, 5) + 0.1) #ajuste para deixar legenda do lado de fora do gráfico

#### Demarcando a área na qual o gráfico será feito
plot(x.order.fft.BR.anual,
y.serie.BR.fft.anual,
ylim = c(1.1*min(yy.serie.BR.fft.anual$,
yy.serie.spec.BR.mem.anual$,
yy.serie.BR.spectrum.anual$,
yy.serie.BR.lomb.anual$y),
1.1*max(yy.serie.BR.fft.anual$,
yy.serie.spec.BR.mem.anual$,
yy.serie.BR.spectrum.anual$,
yy.serie.BR.lomb.anual$y)), #ylim é de onde começa até onde termina o eixo y
main= "Periodogramas", #nome do titulo do gráfico
ylab = "Spectrum Normalized", xlab = "", #indicando que o eixo x não tera labels
lty = 3, lwd=2, col="white",
xlim = (c(0.5,0.9*max(x.order.fft.BR.anual))),
xaxt = "n"
)

#### Adicionando o eixo X
axis(1, at=1:6, labels=c(round(exp(1),1),round(exp(2),1),round(exp(3),1),round(exp(4),1),round(exp(5),1),round(exp(6),1))) #Ajustando
posições no gráfico

#### Insere titulo no eixo x
title(xlab="Período (anos)")

#### Inserindo o periodograma de Lomb
lines(yy.serie.BR.lomb.anual, col="#f37735", lwd=2)

#### Inserindo o periodograma MTM / Spectrum
lines(yy.serie.BR.spectrum.anual, col="#4363d8", lwd=2)

#### Inserindo o periodograma MEM
lines(yy.serie.spec.BR.mem.anual, col="#3cb44b", lwd=2)

#### Inserindo o periodograma FFT
lines(yy.serie.BR.fft.anual, col="#e6194B", lwd=2)

#### Adicionando as linhas verticais indicando os periodos discrepantes
abline(v = c(1.3,3.5,4.4), col=c("#e6194B", "#3cb44b", "#4363d8"), lty=c(2,2,2), lwd=c(1,1,1))

#### Adicionando as linhas horizontais indicando os intervalos de confiança
abline(h = c(level.fft.001,level.fft.005,level.fft.010),col=c("black", "black","black"), lty = c(2,2,2))

#### Adicionando legenda ao gráfico
legend("top",
legend=c("Lomb", "MTM", "MEM", "FFT"),
lty=c(1,1,1,1),cex=0.8, col=c("#f37735", "#4363d8", "#3cb44b", "#e6194B")) #Inserindo a Legenda

round(exp(1.3),1)
round(exp(3.5),1)
round(exp(4.4),1)

```



```
#### Adicionando texto para as linhas verticais
text(1.5, 6, "4 anos",cex = .8,col = "#e6194b")
text(3.3, 6, "33 anos",cex = .8,col = "#3cb44b")
text(4.2, 6, "82 anos",cex = .8,col = "#4363d8")

#### Adicionando texto para as linhas horizontais
text(1, 3.25, "99%",cex = .7)
text(1, 1.7, "95%",cex = .7)
text(1, 1.1, "90%",cex = .7)
```

### H.2.2.3. ETAPA 3 – Análise Preditiva: Modelagem e Projeções

```
#####.#
####
####      Temperatura no Brasil (BEST)      ####
####
####              ETAPA 03              ####
####      MODELAGEM E PROJEÇÕES      ####
####
#####.#

#####
### Modelo para encontrar senóides ###
#####

serie = ts.temp.BR.anual
n.max = length(ts.temp.BR.anual)
sig.min = 0.05

encontra_senoides = function(serie, n.max, sig.min) {
  lmp = function (modelobject) {
    if (class(modelobject) != "lm") stop("Not an object of class 'lm' ")
    f = summary(modelobject)$fstatistic
    p = pf(f[1],f[2],f[3],lower.tail=F)
    attributes(p) = NULL
    return(p)
  }

  senos_sig = NULL
  cossenos_sig = NULL
  for(i in 2:n.max) {
    senos = sin(2*pi*(1:length(serie))/i)
    if(lmp(lm(serie ~ senos)) < sig.min) {
      senos_sig = c(senos_sig, i)
    }
    cossenos = cos(2*pi*(1:length(serie))/i)
    if(lmp(lm(serie ~ cossenos)) < sig.min) {
      cossenos_sig = c(cossenos_sig, i)
    }
  }

  x = data.frame(sapply(senos_sig, function(a)
    sin(2*pi*(1:(length(serie)+10))/a)),
    sapply(cossenos_sig, function(a)
    cos(2*pi*(1:(length(serie)+10))/a)))
  colnames(x) = c(paste('Seno', senos_sig, sep = ''),
    paste('Cosseno', cossenos_sig, sep = ''))
  treino = data.frame(serie, x[1:length(serie),])

  mod = lm(serie ~ ., data = treino)

  return(mod)
}

#####

##### MENSAL AUTOMÁTICO #####
{
  mod.BR.mensal = encontra_senoides(ts.temp.BR.mensal,
    length(ts.temp.BR.mensal),
    0.05)
  plot(c(ts.temp.BR.mensal), type = 'l')
  lines(predict(mod.BR.mensal), col = 'red')
```

```

# Parâmetros que entraram no modelo
data.frame(summary(mod.BR.mensal)$coefficients[,1])
}

##### ANUAL AUTOMÁTICO #####
{
  mod.BR.anual = encontra_senoides(ts.temp.BR.anual,
                                  length(ts.temp.BR.anual),
                                  0.05)
  plot(c(ts.temp.BR.anual), type = 'l')
  lines(predict(mod.BR.anual), col = 'red')

  # Parâmetros que entraram no modelo
  data.frame(summary(mod.BR.anual)$coefficients[,1])
}

#####
#### Modelos com base em variação natural ####
#####

library("xlsx")
natural = read.xlsx("E:\\TESE\\Dados\\Scafetta - Forçamento natural\\natural-2.xlsx", "Planilha1")

##### MENSAL #####

#### Modelo quadratico mensal ####

Forecast.BR.1.mensal = lm(Desvio ~ Data_Mensal + Data_Mensal_2,
                        data = Temp.BR.mensal.reg)
plot(c(ts.temp.BR.mensal), type = 'l')
lines(predict(Forecast.BR.1.mensal), col = 'red')

teste.mod.BR.quad.mensal = data.frame(Data_Mensal = rep(1850:2100, each=12),
                                     Data_Mensal_2 = rep(1850:2100, each=12)^2)

predict.BR.quad.mensal = data.frame(predict(Forecast.BR.1.mensal,
                                           newdata = teste.mod.BR.quad.mensal,
                                           interval = "prediction"))

plot(seq(0,3012), rmorm(3013),
     ylim = c(-2,3),
     main= "Previsao", #nome do titulo do grafico
     ylab = "Desvio Temperatura", #indicando que o eixo x nao tera labels
     xlab = "Anos",
     lty = 3, lwd=2, col="white",
     xlim = c(0,3012),
     xaxt="none")

axis(1,
     at=c(0,600,1200,1800,2400,3000),
     labels=c(1850,1900,1950,2000,2050,2100))

lines(c(ts.temp.BR.mensal))
lines(predict.BR.quad.mensal$fit, col = "red")
lines(predict.BR.quad.mensal$lwr, col = "gray")
lines(predict.BR.quad.mensal$upr, col = "gray")

#### Modelo decomposto em seno e cosseno ####
treino.mod.BR.mensal = data.frame(serie = ts.temp.BR.mensal,
                                 sen60 = sin(2*pi*(1:length(ts.temp.BR.mensal))/720),
                                 cos60 = cos(2*pi*(1:length(ts.temp.BR.mensal))/720),
                                 sen30 = sin(2*pi*(1:length(ts.temp.BR.mensal))/360),
                                 cos30 = cos(2*pi*(1:length(ts.temp.BR.mensal))/360),
                                 sen20 = sin(2*pi*(1:length(ts.temp.BR.mensal))/240),
                                 cos20 = cos(2*pi*(1:length(ts.temp.BR.mensal))/240))

Forecast.BR.2.mensal = lm(serie ~ ., data = treino.mod.BR.mensal)
plot(c(ts.temp.BR.mensal), type = 'l')
lines(predict(Forecast.BR.2.mensal), col = 'red')

teste.BR.mod.sen.cos.mensal = data.frame(sen60 = sin(2*pi*(1:3012)/720),
                                         cos60 = cos(2*pi*(1:3012)/720),
                                         sen30 = sin(2*pi*(1:3012)/360),
                                         cos30 = cos(2*pi*(1:3012)/360),
                                         sen20 = sin(2*pi*(1:3012)/240),
                                         cos20 = cos(2*pi*(1:3012)/240))

predict.BR.mod.sen.cos.mensal = data.frame(predict(Forecast.BR.2.mensal,

```

```

newdata = teste.BR.mod.sen.cos.mensal,
interval = "prediction"))

plot(seq(0,3012), rnorm(3013),
      ylim = c(-2,3),
      main= "Previsao", #nome do titulo do grafico
      ylab = "Desvio Temperatura", #indicando que o eixo x nao tera labels
      xlab = "Anos",
      lty = 3, lwd=2, col="white",
      xlim = c(0,3012),
      xaxt="none")

axis(1,
      at=c(0,600,1200,1800,2400,3000),
      labels=c(1850,1900,1950,2000,2050,2100))

lines(c(ts.temp.BR.mensal))
lines(predict.BR.mod.sen.cos.mensal$fit, col = "red")

#### Blend do Modelo 1 com 2 ####
treino.BR.blend.mensal = data.frame(serie = ts.temp.BR.mensal,
                                   Forecast.BR.1.mensal = predict(Forecast.BR.1.mensal),
                                   Forecast.BR.2.mensal = predict(Forecast.BR.2.mensal))

Forecast.BR.3.mensal = lm(serie ~. ,data = treino.BR.blend.mensal)
plot(c(ts.temp.BR.mensal), type = 'l')
lines(predict(Forecast.BR.3.mensal), col = 'red')

teste.BR.blend.mensal = data.frame(Forecast.BR.1.mensal = predict.BR.quad.mensal$fit,
                                   Forecast.BR.2.mensal = predict.BR.mod.sen.cos.mensal$fit)

predict.BR.blend.mensal = data.frame(predict(Forecast.BR.3.mensal,
                                             newdata = teste.BR.blend.mensal,
                                             interval = "prediction"))

plot(seq(0,3012), rnorm(3013),
      ylim = c(-2,3),
      main= "Previsao", #nome do titulo do grafico
      ylab = "Desvio Temperatura", #indicando que o eixo x nao tera labels
      xlab = "Anos",
      lty = 3, lwd=2, col="white",
      xlim = c(0,3012),
      xaxt="none")

axis(1,
      at=c(0,600,1200,1800,2400,3000),
      labels=c(1850,1900,1950,2000,2050,2100))

lines(c(ts.temp.BR.mensal))
lines(predict.BR.blend.mensal$fit, col = "red")
lines(predict.BR.blend.mensal$lwr, col = "gray")
lines(predict.BR.blend.mensal$upr, col = "gray")
lines(predict.BR.quad.mensal$fit, col = "red")

simultaneous_CBs <- function(linear_model, newdata, level = 0.95){
  # Working-Hotelling 1 ?????  $\alpha$  confidence bands for the model linear_model
  # at points newdata with  $\alpha = 1 - \text{level}$ 

  # estimate of residual standard error
  lm_summary <- summary(linear_model)
  # degrees of freedom
  p <- lm_summary$df[1]
  # residual degrees of freedom
  nmp <-lm_summary$df[2]
  # F-distribution
  Fvalue <- qf(level,p,nmp)
  # multiplier
  W <- sqrt(p*Fvalue)
  # confidence intervals for the mean response at the new points
  CI <- predict(linear_model, newdata, se.fit = TRUE, interval = "confidence",
                level = level)
  # mean value at new points
  Y_h <- CI$fit[,1]
  # Working-Hotelling 1 ?????  $\alpha$  confidence bands
  LB <- Y_h - W*CI$se.fit
  UB <- Y_h + W*CI$se.fit
  sim_CB <- data.frame(LowerBound = LB, Mean = Y_h, UpperBound = UB)
}

```

```

ConfBand = simultaneous_CBS(linear_model = Forecast.BR.3.mensal,
                             newdata = teste.BR.blend.mensal,
                             level = 0.9)

lines(ConfBand$LowerBound, col = "blue")
lines(ConfBand$UpperBound, col = "blue")

#### Gráfico final ####
dev.off()
plot(seq(0,3012), rnorm(3013),
      ylim = c(-2,3),
      main= "Previsao", #nome do titulo do grafico
      ylab = "Desvio Temperatura", #indicando que o eixo x nao tera labels
      xlab = "Anos",
      lty = 3, lwd=2, col="white",
      xlim = c(0,3012),
      xaxt="none")

axis(1,
      at=c(0,600,1200,1800,2400,3000),
      labels=c(1850,1900,1950,2000,2050,2100))

lines(c(ts.temp.BR.mensal))
lines(predict.BR.blend.mensal$fit, col = "#e6194b", lty = c(2))
lines(predict.BR.mod.sen.cos.mensal$fit, col = "#3cb44b", lty = c(2))
lines(predict.BR.quad.mensal$fit, col = "#4363d8", lty = c(2))

legend("topleft",
       legend=c("Blend", "Sen e Cos", "Quadratico"),
       lty=c(2,2,2),
       cex=0.8,
       col=c("#e6194b", "#3cb44b", "#4363d8")) #Inserindo a Legenda

##### ANUAL #####

#### Modelo quadratico anual ####

Forecast.BR.1.anual = lm(Mediana ~ ., data = Temp.BR.anual.reg)
plot(c(ts.temp.BR.anual), type = 'l')
lines(predict(Forecast.BR.1.anual), col = 'red')

teste.BR.mod.quad = data.frame(Data_Anuual = seq(1850,2100),
                               Data_Anuual_2 = seq(1850,2100)^2)

predict.BR.quad = data.frame(predict(Forecast.BR.1.anual,
                                    newdata = teste.BR.mod.quad,
                                    interval = "prediction"))

plot(seq(0,250), rnorm(251),
      ylim = c(-2,3),
      main= "Previsao", #nome do titulo do grafico
      ylab = "Desvio Temperatura", #indicando que o eixo x nao tera labels
      xlab = "Anos",
      lty = 3, lwd=2, col="white",
      xlim = c(0,250),
      xaxt = "none")

axis(1,
      at=c(0,50,100,150,200,250),
      labels=c(1850,1900,1950,2000,2050,2100)) #Ajustando posicoes no gr?fico

lines(c(ts.temp.BR.anual))
lines(predict.BR.quad$fit, col = "red")
lines(predict.BR.quad$lwr, col = "gray")
lines(predict.BR.quad$upr, col = "gray")

#### Modelo decomposto em seno e cosseno ####

treino.mod.BR.anual = data.frame(serie = ts.temp.BR.anual,
                                sen60 = sin(2*pi*(1:length(ts.temp.BR.anual))/60),
                                cos60 = cos(2*pi*(1:length(ts.temp.BR.anual))/60),
                                sen30 = sin(2*pi*(1:length(ts.temp.BR.anual))/30),
                                cos30 = cos(2*pi*(1:length(ts.temp.BR.anual))/30),
                                sen20 = sin(2*pi*(1:length(ts.temp.BR.anual))/20),
                                cos20 = cos(2*pi*(1:length(ts.temp.BR.anual))/20))

Forecast.BR.2.anual = lm(serie ~ ., data = treino.mod.BR.anual)
plot(c(ts.temp.BR.anual), type = 'l')

```



```

#### Realizando a previsão
predict.BR.nat = data.frame(predict(Forecast.BR.1.nat,
                                  newdata = teste.BR.mod.nat,
                                  interval = "prediction"))

#### Verificando o ajuste do modelo quadrático
plot(seq(0,240), rnorm(241),
      ylim = c(-2,3),
      main= "Previsao", #nome do titulo do gráfico
      ylab = "Desvio Temperatura", #indicando que o eixo x não tera labels
      xlab = "Anos",
      lty = 3, lwd=2, col="white",
      xlim = c(0,240),
      xaxt = "none")
axis(1,
     at=c(0,50,100,150,200,240),
     labels=c(1860,1900,1950,2000,2050,2100)) #Ajustando posicoes no gráfico

lines(c(ts.BR.temp.nat))
lines(predict.BR.nat$fit, col = "red")

#### Agrupando os dados anuais

Temp.BR.natural = natural %>%
  group_by(Ano) %>%
  summarise(Mediana = median(Desvio)) %>%
  as.data.frame()

Temp.BR.natural = Temp.BR.natural[1:152,]

#### Criando um dataframe com os dados do ajuste quadrático e a série natural
treino.BR.blend.nat = data.frame(serie = ts.BR.temp.nat,
                                Forecast.BR.1.nat = predict(Forecast.BR.1.nat),
                                Natural = Temp.BR.natural$Mediana)

#### Ajustando o modelo com esses dados
Forecast.BR.3.nat = lm(serie ~ . ,data = treino.BR.blend.nat)

#### Vetificando o ajuste
plot(c(ts.BR.temp.nat), type = 'l')
lines(predict(Forecast.BR.3.nat), col = 'red')
library(dplyr)

#### Agrupando os dados para previsão
Temp.BR.natural.fit = natural %>%
  group_by(Ano) %>%
  summarise(Mediana = median(Desvio)) %>%
  as.data.frame()

#### Organizando o banco de dados com o período que queremos prever

teste.BR.blend.nat = data.frame(Forecast.BR.1.nat = predict.BR.nat$fit,
                                Natural = Temp.BR.natural.fit$Mediana)

predict.BR.blend.nat = data.frame(predict(Forecast.BR.3.nat,
                                       newdata = teste.BR.blend.nat,
                                       interval = "prediction"))

#### Verificando o ajuste do modelo
plot(seq(0,240), rnorm(241),
      ylim = c(-2,3),
      main= "Previsao",
      ylab = "Desvio Temperatura",
      xlab = "Anos",
      lty = 3, lwd=2, col="white",
      xlim = c(0,240),
      xaxt="none")

axis(1,
     at=c(0,40,90,140,190,240),
     labels=c(1860,1900,1950,2000,2050,2100)) #Ajustando posicoes no gráfico

lines(c(ts.BR.temp.nat))
lines(predict.BR.blend.nat$fit, col = "red")
lines(predict.BR.blend.nat$lwr, col = "gray")
lines(predict.BR.blend.nat$upr, col = "gray")
lines(predict.BR.nat$fit, col = "red")

```

**VOLUME 2**

**PARTE VII**

**ABORDAGEM CRÍTICA:**

**Implicações Práticas**





## VOLUME 2 – PARTE VII

**APÊNDICE I****MUDANÇAS CLIMÁTICAS:****Ensaio Estendido sobre Repercussões  
Políticas, Econômicas e Sociais****I.1. INTRODUÇÃO**

O texto a seguir é uma exposição de ideias, ou “ensaio estendido”, em resposta a um pedido de entrevista solicitado, via *e-mail*, por Fredy Alexandrakis, estudante de graduação em Jornalismo da USP e estagiário do *Nexo Jornal*. Cinco instigantes e provocativas perguntas realizadas pelo futuro Jornalista resultaram na sequência de um levantamento de diversas perspectivas sobre a temática climática. Em contraposição a visões hegemônicas e do “senso comum”, alguns posicionamentos alternativos são oferecidos. Não se tratam de declarações de simples opiniões, mas sim um relato aprofundado e fundamentado em diversas referências científicas.

Além da abordagem analítica apresentada, ao longo do

restante desta Tese, sobre fenômenos físicos relativos às mudanças climáticas, é interessante aqui explicar sobre a relação do tema com diferentes aspectos políticos, econômicos e sociais. Como motes centrais, abrange-se informações sobre o *alarmismo climático*, *eco-ansiedade*, *educação* e *nível de interesse sobre o tema*, apresentando uma abordagem histórica sobre como a sociedade passou a atribuir um elevado nível de importância ao tema – o que consequentemente tem repercutido em exageradas preocupações. O conteúdo serve de complemento à abordagem e alguns questionamentos já levantados no **APÊNDICE C** (p. 383) e **APÊNDICE D** (p. 385), textos que motivaram o estudante a elaborar suas perguntas.

**I.2. PERGUNTA 01**

**Nos dois artigos que eu li, vocês adotam uma posição crítica ao alarmismo da mídia na cobertura das mudanças climáticas. Há ativistas e ambientalistas que defendem uma opinião oposta, de que a imprensa não transmite a devida urgência do problema. Qual seria o caminho mais adequado para a imprensa em frente ao dilema de alertar para um problema que é sério e não tem recebido respostas suficientemente rápidas, mas ao mesmo tempo sem causar nos leitores uma ansiedade desmotivadora e contraproducente?**

Nota-se certa angústia no tom dessa pergunta, uma frustração de uma expectativa não correspondida. Depreende-se que era esperado um resultado diferente, ou seja, uma “imprensa transmitindo a devida urgência do problema”, ou pelo menos, um resultado efetivo desse alarde, ou seja, pessoas realmente preocupadas e agindo contra a tal “emergência climática”.

Quando se fala dos problemas relacionados às mudanças climáticas, existe um longo caminho para compreender como chegamos até aqui hoje nesse tipo de debate. Para se entender o presente, é necessário estudar o passado e, quem sabe com isso, tentar traçar perspectivas e delinear prováveis tendências para o futuro.

Antes de dar respostas curtas e contundentes, baseadas somente na opinião e impressão pessoal rápida e superficial, é necessário fazer algumas retrospectivas históricas e contextualizações sobre a origem e a evolução dos aspectos relacionados à temática climática.

Diferente de uma entrevista convencional, busca-se aqui apresentar uma contextualização evolutiva e comparativa dos fatos envolvidos, baseando as ideias em referências confiáveis, prioritariamente livros e artigos científicos, ou usando informações obtidas em *sites* fidedignos, com informações de credibilidade.

Então, trata-se aqui de exprimir opiniões fundamentadas em um compilado de informações,

associado a uma coletânea de citações e referências, permitindo aos interessados resgatar, conferir, pesquisar e aprofundar naquilo que despertar maior interesse. Por meio de uma abordagem analítica e crítica, contudo, propositiva de uma visão alternativa, trabalharemos por tópicos e subtópicos norteadores da construção de um raciocínio que auxiliará na elucidação da sua pergunta.

### 1.2.1. REFLEXÕES INICIAIS

Quanto mais assustador nosso mundo se torna, mais medo temos dessa emoção. Quanto mais há o que temer, mais o evitamos. Em uma era pós-Holocausto, pós-atômica, hiperviolenta e traumatizada ambientalmente, um mundo em que “o terrível” – como diz o filósofo Heidegger, “já aconteceu” –, o medo está sempre presente, opressor e amplamente inconsciente. Ficamos acostumados com o medo, estranhos ao nosso próprio coração. [GREENSPAN, 2004, paginação variável (*e-book*)<sup>336</sup>, tradução nossa].

Inicia-se essa breve introdução sobre o medo, citando uma frase da inspiradora Marie Curie: “Nada na vida deve ser temido, apenas compreendido. Agora é a hora de entender mais, para que tenhamos menos medo”.

#### 1.2.1.1. Crise ou emergência climática e o colapso ambiental-civilizacional: uma tragédia anunciada inevitável?<sup>337</sup>

As informações sobre o estado do planeta às vezes sacodem e amedrontam a ponto de influenciar atitudes e comportamentos. As pessoas experimentam medos que ora os imobilizam, ora os mobilizam. Dados cada vez mais vertiginosos sobre o futuro do sistema terrestre podem impulsionar um efeito de experimentação de um “pânico perplexado”. A pessoa adquire níveis de angústia, preocupação, mas o problema parece ser tão grande e impossível de ser resolvido, que uma mistura de sentimentos a torna acuada, atônita, desorientada e confusa sobre qual atitude tomar perante à suposta enorme ameaça/perigo. Como se a contínua profusão de

um medo descabido gerasse, cumulativamente, um efeito que é equivalente a um grande susto capaz de provocar um estado de choque paralisante no indivíduo.

Estamos vivendo o que parece uma sucessão interminável de crises, em que a recitação do “estado de emergência” supostamente permanente se tornou algo normal, parte do cotidiano. O “Relógio do Juízo Final”<sup>338</sup>, uma medida simbólica do nosso risco de obliterar a humanidade, nunca esteve mais perto da “meia-noite”: na última atualização da hora final, em 2020, o relógio foi ajustado para 100 segundos do “fim”.

Estar apenas “preocupado” com as mudanças climáticas, as desigualdades, a democracia e o colapso de qualquer coisa da vida moderna extrapola cada vez mais o simples senso comum de que estamos levando o mundo à beira do precipício; hoje, parece que a maioria das pessoas têm bastante certeza de um futuro tragicamente inevitável. No mínimo, com tantos conflitos e tragédias anunciadas e vivenciadas diariamente, parece esse ser mesmo o destino mais provável da trajetória atual da humanidade como um todo. Uma insistência “otimista”, de que o crescente coro dos pessimistas profetas da devastação pode estar errado, pouco contribui para iluminar a escuridão. Pelo menos por enquanto, o “desespero frenético” não é o modo predominante dos pregadores dos colapsos contemporâneos. Ainda, o pânico está muito mais próximo da resignação ou decepção, uma condenação quase indistinguível do destino trágico.

Esse julgamento de nosso momento na história e sua trajetória imprime a sensação do horripilante não apenas no sentido de que parecemos estar caminhando para fins catastróficos. Também é trágico em um sentido dramático. Típicos contos literários clássicos e histórias cinematográficas contemporâneas ilustram que a tragédia é sempre presenciada e reconhecida por um espectador imparcial que nada pode fazer para evitá-la. Assistimos ao personagem tragicamente errante marchar em direção ao seu destino fatídico, às vezes quando ele está ciente de sua aproximação muito antes do momento exato chegar. Algo semelhante pode ser dito para nossa era, em que muitos

<sup>336</sup> Trecho retirado do “Cap. 7 – *From Fear to Joy*”, subitem “*ACTING OUT*” (7º parágrafo).

<sup>337</sup> Baseado, com adaptações, no trabalho de Mann (2019).

<sup>338</sup> Fundado em 1945 por Albert Einstein e cientistas da Universidade de Chicago que ajudaram a desenvolver as primeiras armas atômicas do Projeto Manhattan, o *Bulletin of the Atomic Scientists* criou o “Relógio do Juízo Final” dois anos depois, usando as imagens do *apocalypse* (meia-noite) e o idioma contemporâneo de explosão nuclear (contagem regressiva até zero) para transmitir ameaças à humanidade e ao planeta. O Relógio do Juízo Final, que é ajustado todos os anos, se tornou um indicador universalmente reconhecido da vulnerabilidade do mundo à catástrofe de armas nucleares, mudanças climáticas e tecnologias disruptivas em outros domínios. Quando o Relógio do Juízo Final foi criado em 1947, o maior perigo para a humanidade

estava atrelado às armas nucleares, em particular da perspectiva do atrito geopolítico entre forças lideradas pelos Estados Unidos e pela União Soviética, que estavam rumando para uma corrida armamentista nuclear. O Boletim considerou possíveis interrupções catastróficas da mudança climática em suas deliberações pela primeira vez em 2007. Em 2020, o Conselho de Ciência e Segurança definiu o tempo para 100 segundos à meia-noite, em grande parte por causa da disfunção governamental mundial ao lidar com ameaças globais. Antes de 2020, o mais próximo que o ponteiro estava ajustado da meia-noite era de dois minutos: em 1953, depois que os Estados Unidos e a União Soviética testaram suas primeiras armas termonucleares em um intervalo de seis meses; e em 2018, em grande parte devido ao risco nuclear e à crescente ameaça das mudanças climáticas. Mais detalhes em <https://thebulletin.org/doomsday-clock/current-time/> e Brazil (2020).

dos estudiosos, intelectuais e cientistas observam, muitas vezes literalmente de longe – via imagens de satélite, notícias e artigos na *Internet*, gráficos de carbono atmosférico etc. – reconhecendo o que está errado e o que deve ser feito para começar a resolvê-lo, mas nada fazem, ou assumem uma postura de “pareço estar ocupado” que é equivalente ao nada. Os mecanismos causais finais do destino são tão incompreensíveis que, no momento em que se reconhece a tragédia ocorrendo, ela é efetivamente inevitável. De longe, muitos acreditam que estão vagando distraidamente em direção ao apocalipse, impotentes, tão incapazes de intervir quanto uma plateia assistindo Édipo assassinar seu pai.

Não é preciso compartilhar esse sentimento de condenação inescapável para ser forçado a levá-la a sério. Primeiro, a desgraça não se limita ao futuro, mas tem uma longa história entre os povos mais pobres e explorados do planeta, tanto dentro como fora das sociedades que se autodenominam “modernas”. Alguns profetas anunciadores de eventos dantescos já provam estar certos: tragédias sempre ocorreram e continuam ocorrendo. Mas esse temor eminentemente racional – o reconhecimento da probabilidade da futilidade dos esforços para evitar uma catástrofe – é fundamental para a vida social contemporânea. Parte do problema que enfrentamos reside na mutável possibilidade de redenção, mas de um tipo mais histórico do que religioso. Sofrimento, calamidade e crise encontram em sua narrativa praticamente todo o seu significado no compromisso e expectativa de um futuro que promete redimi-los – que os faz valer a pena, recompensa as injustiças sofridas, ou mesmo apenas demonstra que eram desnecessárias. Tão inelutável quanto à sensação de desalento, existe e resiste o sentimento da esperança por dias melhores – não completamente bons e prazerosos, mas simplesmente dias menos sofríveis.

A novidade dos problemas particulares que a humanidade declara enfrentar no momento contemporâneo (“crise climática”<sup>339</sup> em especial) pode, às vezes, nos levar a esquecer que esta está longe de ser a primeira vez que “o mundo vai acabar”, ou a primeira vez que um terror trágico obscurece o futuro. Eventos calamitosos e desgraças pairaram sobre muitas comunidades no passado – e, ainda hoje, continuam assolando muitas pessoas! Devemos evitar a tentação da nostalgia ou do clichê “eles lutaram até o fim”, “eles nunca desistiram” – mas sim pensar em como as pessoas tentaram manter um espírito de esperança por um futuro melhor e um senso de responsabilidade coletiva à sombra de tantas tragédias passadas.

Se melhores futuros – que neste caso deve significar mais justos, seguros, livres e alegres para todas as pessoas – não forem mais considerados possíveis ou forem entendidos como cada vez mais fora de nosso alcance, então está em cheque a legitimidade e utilidade da própria sabedoria e ciência humana. Por meio do conhecimento e esclarecimento, temos um poderoso instrumento com capacidades potencialmente libertadoras dos diversos flagelos e tragédias enfrentadas pela humanidade, sejam as calamidades criadas por ela mesma e até eventos e desastres naturais<sup>340</sup> de causas extrínsecas à sociedade. Quanto às mudanças climáticas, divulgar que existem sim possíveis futuros alternativos, não tão trágicos, é um compromisso e dever daqueles que prezam pela honestidade científica e pela busca incessante pela verdade. Talvez, diminuir parte da dor sentida em decorrência de uma angústia antecipada de situações futuras adversas, ajude a acalmar os ânimos, equilibrar a ansiedade e retomar a razão e a sensatez para se tomar decisões adequadas, destituindo-se, assim, as indesejáveis interferências emocionais – como a eco-ansiedade – contaminadas por um desespero descabido sobre uma tragédia hipoteticamente imaginada e disseminadamente exagerada.

<sup>339</sup> Vale a pena perguntar o que acontece quando a crise se transforma em tragédia. Qual é a relação entre os dois? À primeira vista, pode parecer que a tragédia é simplesmente uma crise que ultrapassou o limiar de um ponto sem retorno. Nomear a crise e declarar a emergência é um sistema de alerta precoce para a tragédia, mas também torna a tragédia difícil de entender. Na verdade, todo o objetivo da ideia de crise é negar a tragédia: crise é a palavra usada para um momento que, por definição, é suposto como transitório. A inauguração de uma “emergência” ou crise assustadora apenas obscurece a verdade do que podem ser as possíveis histórias alternativas.

<sup>340</sup> A Terra já experimentou diversos grandes eventos catastróficos de causas naturais. A mudança climática decorrente desses eventos naturais quase extinguiu a vida na Terra em três ocasiões: 1. Cerca de 250 milhões de anos atrás, uma série de erupções vulcânicas massivas na Sibéria causou mudanças rápidas na atmosfera da Terra que exterminou 90% de suas espécies; 2. Em seguida, 65 milhões de anos atrás, um asteroide atingiu o que hoje é o México e criou outra catástrofe atmosférica que eliminou 50% das espécies da Terra (incluindo os dinossauros); e 3. Cerca de 73.000 anos atrás, a erupção vulcânica do Monte Toba, na Indonésia, causou um “inverno” que durou vários anos e aparentemente matou a maior parte da população humana. Nenhum desastre ambiental subsequente teve um impacto global nesta escala, mas

vários outros episódios de mudança climática afetaram diretamente os seres humanos, causando destruição e deslocamento generalizados. Cerca de 13.000 anos atrás, o hemisfério norte experimentou um episódio de resfriamento global (provavelmente depois que um cometa colidiu com a Terra), que acabou com a maior parte da vida animal. Cerca de 4.000 anos atrás, as sociedades no sul e oeste da Ásia entraram em colapso em meio à seca geral; enquanto que, entre 750 e 900 d.C., a seca em ambos os lados do Pacífico enfraqueceu fatalmente o império Tang na China e a cultura maia na América Central. Então, em meados do século 14, uma combinação de violentas oscilações climáticas e grandes epidemias reduziu para metade a população da Europa e causou severo despovoamento e perturbação em grande parte da Ásia. Finalmente, em meados do século XVII, a Terra experimentou um dos climas mais frios registrados em mais de um milênio. Talvez um terço da população humana tenha morrido naquele episódio. Percebe-se que mudanças climáticas de causas naturais podem produzir catástrofes humanas. Hoje, é discutido se causas humanas podem causar catástrofes ambientais e climáticas, e quais as magnitudes, atuais e futuras, de tais impactos antrópicos (PARKER, 2013).

### I.2.1.2. Colapsologia e eco-catastrofismo: a racionalização da tragédia (catástrofe, colapso e apocalipse)

Estejamos falando sobre uma suposta emergência climática em curso, a onda global de protestos de rua, o plástico em nossos corpos, ou os próximos colapsos financeiros do mundo que parecem ocorrer com maior frequência, para muitos, um *apocalipse*<sup>341</sup> vindouro parece uma possibilidade bastante real. De todas as catástrofes alarmantes no início do novo milênio, a catástrofe ecológica é, sem dúvida, divulgada como a maior e mais grave: aumento da temperatura global, extinções em massa, acidificação dos oceanos, desmatamento descontrolado, a destruição dos recifes de coral, enfim, uma cataclísmica tragédia ambiental e ecológica generalizada, entre muitos outros horrores. Profetizar o fim do mundo agora está na moda – na linguagem atual, a discussão sobre eventos apocalípticos é chamada, de um modo geral, de *colapsologia*<sup>342</sup> (corrente francesa, que não se restringe somente às questões ambientais e climáticas)

<sup>341</sup> Palavra de origem religiosa, mas assumida popularmente como sinônimo de “fim do mundo”.

<sup>342</sup> A palavra *colapsologia* [*colapso* + *logos* (do grego ‘discurso’)] se refere a um estudo multidisciplinar do colapso potencial da atual civilização industrial. Ela está preocupada com o colapso geral das sociedades induzido pelas mudanças climáticas, escassez de recursos, vastas extinções e desastres naturais. Embora o conceito de colapso social ou civilizacional já existisse por muitos anos, o colapsologia concentra sua atenção na sociedade contemporânea, industrial e globalizada. A colapsologia parte da ideia de que o homem impacta seu meio ambiente de forma insustentável e negativa, e propaga o conceito de *urgência ecológica*, ligada em particular ao aquecimento global e à perda de biodiversidade. Os colapsologistas acreditam, entretanto, que o colapso da civilização industrial pode ser o resultado de uma combinação de crises diferentes: ambientais, mas também energéticas, econômicas, geopolíticas, democráticas, catastróficas (desastres naturais), entre outras. A palavra *colapsologia* foi recentemente inventada em 2015, quando os franceses Pablo Servigne e Raphaël Stevens a trouxeram para atenção do público em geral em seu ensaio: *Comment tout peut s’effondrer. Petit manuel de collapsologie à l’usage des générations présentes* (tradução livre: “Como tudo pode desmoronar. Pequeno manual de colapsologia para uso das gerações atuais”). Em 2020, foi publicada a obra traduzida para o inglês (SERVIGNE; STEVENS, 2020). Nascida na França em uma *blogosfera* denominada de *colapsosfera*, ou uma “bolha virtual” composta por “*colapsonautas*”, atualmente a *colapsologia* ganha força como uma vertente acadêmica em crescimento, com publicação de diversos livros e artigos por profissionais autodenominados *colapsologistas*. Inclusive, em 2018 foi criado o Observatório de Experiências do Colapso (*OBservatoire des VEcus des COLLapse – OBVECO – site: <https://obveco.com/>*). Mais sobre a colapsologia pode ser consultada na Wikipédia: <https://en.wikipedia.org/wiki/Collapsology>. O colapsologia também dedica seus esforços no estudo do *colapso induzido pelo clima*, também chamado de *apocalipse climático* ou *distopia climática* ([https://en.wikipedia.org/wiki/Climate\\_apocalypse](https://en.wikipedia.org/wiki/Climate_apocalypse)), situação que descreve cenários hipotéticos envolvendo o colapso global da civilização humana e a potencial extinção humana como resultado direto ou indireto da mudança climática antropogênica. *Observação*: as versões em inglês da Wikipédia podem ser úteis como ponto de partida para algumas referências sobre os temas, pois costumam, boa parte das vezes, devidamente referenciar as fontes (artigos, livros, notícias etc.). Como um dos *sites* mais visitados do mundo, e considerada a maior enciclopédia do mundo, a Wikipédia possui documentos (GILES, 2005; CASEBOURNE et al., 2012) que assinalam sua precisão. Registra-se, contudo, a ciência quanto à

ou, quando associada a questões ambientais ou climáticas, possuem denominações diversas (corrente na língua inglesa): *catastrofismo ambiental*, *catastrofismo ecológico* (mais conhecido como *eco-catastrofismo*<sup>343</sup>) e, especificamente no caso do clima, *catastrofismo climático*.

De onda de calor em onda de calor, o tema do colapso popularizado pela colapsologia e do eco-catastrofismo é cada vez mais divulgado. Segundo Allard, Monnin, e Tasset (2019), ferramentas de monitoramento de tendências associa a colapsologia à “ansiedade ecológica” (ou *eco-ansiedade* – que abordaremos em detalhes adiante) em cerca de 2.000 verbetes em agosto de 2019, com manchetes de jornais, revistas ou mídia audiovisual, contendo dizeres como “*O futuro te deprime? Cinismo, eco-ansiedade e depressão verde...*”, “*Eco-ansiedade: quando o aumento das temperaturas faz baixar o humor*”, “*Eco-ansiedade ou solostalgia, a nova doença do século*”. Nesse contexto, o “*logos*”, discurso racional sobre o colapso, embora bem fundamentado, pode ser fonte de um “*pathos*”, principalmente de sofrimento mental (medo, ansiedade ou angústia). A colapsologia incorpora uma forte dimensão emocional ao conjunto de indicativos de um

ressalvas e cuidados ao se citar artigos da Wikipédia, conforme alertado em Citando (2021).

<sup>343</sup> O termo *catastrofismo* é proveniente originalmente da Geologia. Popularizado pelo cientista francês Georges Cuvier (1769–1832) no início do séc. 19, a teoria catastrofista pregava que Terra havia sido amplamente moldada por eventos abruptos, de curta duração e possivelmente em âmbito mundial, como grandes enchentes, vulcanismo, terremotos e impactos de asteroides. A teoria do *catastrofismo* contrasta com o *Uniformitarismo*, cuja teoria, criada pelo geólogo escocês James Hutton (1726–1797), defende que mudanças geológicas incrementais e lentas, como a erosão, criaram todas as características geológicas da Terra. Atualmente, o catastrofismo assume uma conotação um pouco diferente: o que antes acreditava-se em processos naturais agindo de forma drástica no meio ambiente, agora acredita-se que o homem também é capaz de causar alterações ambientais tão catastróficas quanto eventos paleogeológicos. *Catastrofismo* também costuma ser usado como um fenômeno de excessiva disseminação de mensagens sobre eventos catastróficos atuais e futuros: assim como uma pessoa que “soa o alarme” sobre um assunto preocupante é denominada *alarmista*, e que contribui com o *alarmismo*, analogamente, uma pessoa que exagera na difusão de eventos catastróficos pode ser considerada *catastrofista*, contribuindo com o *catastrofismo*. Por semelhança, ambientalistas e ativistas ambientais, quando estão acentuando e propagando o *catastrofismo ecológico* (tragédia ecológica causada pelo homem), às vezes são chamados de *eco-catastrofistas*. Para Lilley et al. (2012):

O catastrofismo presume que a sociedade está caminhando para um colapso, seja econômico, ecológico, social ou espiritual. Esse colapso é frequentemente, mas nem sempre, considerado uma grande purificação, da qual nascerá uma nova sociedade. Os catastrofistas tendem a acreditar que uma retórica cada vez mais intensificada do desastre despertará as massas de seu longo sono – se a falha mecânica do sistema não tornar tais lutas supérfluas. [LILLEY et al., 2012, paginação variável (*e-book*); trecho retirado da seção “INTRODUCTION”, 2º parágrafo; tradução nossa].

Artigo de Marriner, Morhange e Skrimshire (2010) rastreia a ascensão do *neocatastrofismo*, cuja ênfase atual na mitigação de riscos é indiscutivelmente um dos paradigmas interpretativos mais importantes da geociência com fortes influências nas esferas pública e política.

colapso iminente, chegando mesmo a causar depressão em algumas pessoas. Alguns críticos recriminam os argumentos, mas a abordagem que tem um certo pessimismo associado que pode ser inibidor na hora de agir. Assim, pessoas emocionalmente afetadas pelos possíveis efeitos de eventuais colapsos podem desenvolver *doenças ambientais*<sup>344</sup> (incluindo a *eco-ansiedade*, a *solastalgia*, o *luto ecológico*, *ansiedade climática*, *depressão climática*) e/ou passar a assumir *comportamentos colapsomaníacos* (atitudes ou hábitos prejudiciais ao indivíduo<sup>345</sup>).

Se a civilização está a caminho do colapso e a sabedoria é a qualidade de ser capaz de tomar decisões ponderadas que afetam o bem comum em tempos de catástrofe, uma pergunta natural é: Qual é a coisa mais sábia a se fazer agora? Segundo Berteaux (2020), existem dificuldades fundamentais que impedem a sabedoria ser aproveitada quando as nações e sociedades estão em crise. Forças negligenciadas influenciam as vidas mentais, dificultando basear o julgamento prático em mais do que apetites, impulsos ou desejos. O autor destaca nossa atenção para a forma como nos enganamos, acreditando no que preferimos enquanto ignoramos a verdade: parece quase como se a parte antiga do cérebro, a parte que pensa em mitos e histórias, nutrisse um longo rancor contra a mente racional e, com ciúme de seu controle crescente sobre o comportamento humano, ela se apoderou das falhas da razão.

Ressalta-se, portanto, a importância de sondar a conexão entre a realidade e nossa experiência subjetiva. De muitas maneiras, nossas complexas vidas mentais, intelectuais e emocionais são restritivas. Portanto, a aplicação da sabedoria quando a civilização está em uma encruzilhada exige, primeiro, admitir os limites da própria perspicácia. Acreditando na tragédia inevitável das mudanças climáticas, a humanidade pode estar cegamente se enganando sobre um problema ilusório, cuja realidade, no futuro, talvez não concretize os cenários apocalípticos concebidos nos moldes do “colapsismo” hoje imaginado. A magnitude esperada quanto aos futuros impactos climáticos adversos é excessivamente assombrosa, podendo ela ser reflexo de um problema de distorção coletiva de percepção humana

perante uma calamidade ambiental superestimada e colapsomaníaca. No fundo, hoje, o real problema das mudanças climáticas pode estar na cabeça das pessoas, no imaginário mítico delas sobre um futuro incerto e trágico, e não exatamente na realidade física terrestre do que poderá ou não ocorrer de verdade. Não podemos permitir que mentes humanas sofram desnecessariamente e sejam reféns de um terrorismo climático exacerbado, sobre uma crise dissimulada, com impactos de proporções irreais.

A política apocalíptica, embora prometendo motivar a transformação revolucionária, muitas vezes leva a uma paralisia induzida pelo medo, cinismo e indiferença. Mesmo com a difundida gravidade da catástrofe, parece que as soluções oferecidas pelo ambientalismo dominante são inadequadas – ou são inexecutáveis (não são realmente colocadas em prática) ou são ineficientes (quando praticadas, não são eficientes/suficientes), o que, frequentemente, conduzem como resultado uma “política de medo” que paralisa em vez de impulsionar e promover mudanças comportamentais coletivas e individuais<sup>346</sup>. Ao combinar previsões catastróficas com soluções flagrantemente inadequadas, a (maioria das) comunidades científicas e ambientais ofereceram poucos motivos para inspirar a mobilização. Resultado geral: inação generalizada combinada com ações pífias, insignificantes<sup>347</sup>. Preocupação (não importa se ela é alta) não é condição *sine qua non* para a ação: a consciência sobre uma propagandeada crise climática não leva necessariamente a um maior engajamento político no nível coletivo ou a atitudes proativas no nível comportamental individual.

Em contraponto às concepções alarmantes predominantes, Lilley et al. (2012) apresentam uma compreensão alternativa, racional e lúcida, para a política improdutiva do medo. Como um relato investigativo das limitações e inércia do pensamento catastrófico, impele à reflexão para além da retórica carregada de condenação impiedosa, a fim de gerar análises mais ambiciosas das verdadeiras crises sociais e ambientais. A obra examina as principais razões pelas quais o catastrofismo ambiental não levou a movimentos sociais mais dinâmicos e efetivos; isso inclui a fadiga da catástrofe, os efeitos

<sup>344</sup> A serem tratadas em detalhes no item “1.2.8. DOENÇAS AMBIENTAIS”, pg. 73.

<sup>345</sup> Conforme será destacado no item “1.2.8.4. Sintomas da eco-ansiedade/ansiedade climática”, pg. 82.

<sup>346</sup> Por exemplo, certas práticas de consumo estão começando a mudar, principalmente nos países escandinavos. Na Suécia, por exemplo, um novo movimento está se desenvolvendo, o *käpskam*, ou “vergonha de comprar roupas ou fazer compras”. A ideia não é culpar os consumidores, mas sim convidar a repensar as formas de consumo e convencer a desistir da compra compulsiva de roupas novas e optar por roupas de segunda mão. Tal movimento foi criado em continuidade aos

movimentos de: *flygskam* (“vergonha de voar”/usar avião como meio de transporte); *smygflyga* (“voar às escondidas”), para aqueles que ainda viajam de avião, mas que se sentem desconfortáveis demais para admitir; e *tågskyt*, orgulho de andar de trem.

<sup>347</sup> Usa-se aqui uma noção relativa entre a distância da situação esperada com a situação obtida, isto é, se basicamente esperam reduzir urgente e drasticamente as emissões de gases de efeito estufa para combater as mudanças climáticas, esse desafio ainda está muito longe de ser obtido no curto prazo e em ritmo acelerado.

paralisantes do medo, a combinação de análises esmagadoramente sombrias com soluções inadequadas e uma incompreensão do processo de politização. Na mesma linha do supracitado livro, outra obra mais recente, de Shellenberger (2020), pretende, com base em fatos e documentos científicos, “combater o exagero, alarmismo e extremismo que são inimigos de um ambientalismo positivo, humanista e racional”. O autor decidiu escrever esse livro porque acredita que “a conversa sobre as mudanças climáticas e o meio ambiente, nos últimos anos, saiu de controle”.

Em meio aos debates frequentemente caóticos e confusos sobre as mudanças climáticas e outros problemas ambientais, existe a necessidade de separar os fatos científicos da ficção científica. Com isso em mente, pretendemos, neste ensaio, senão induzir à reflexão intelectual da desconfiança diante do anúncio de uma catástrofe completa, pelo menos desacelerá-la e qualificá-la, com intuito de favorecer uma compreensão que ajude a pensar melhor, formar ou reformular opiniões, rever ou consolidar convicções e, a partir de todo o novo embasamento apresentado, auxiliar a decidir com sabedoria e assumir uma postura condizente. Afastar o público de suas tentações catastróficas é, portanto, uma das tarefas esperadas dos intelectuais honestos, no âmbito de suas funções de manutenção de um certo regime científico justo, equilibrado e ponderado. Se o alarme que soa há quase meio século sobre os riscos e perigos das mudanças climáticas estão provocando nas pessoas o aumento dos efeitos colaterais psicológicos (eco-ansiedade entre outros), então agora é a hora de alertar sobre o alarme, e “disparar um aviso” em desfavor do alarmismo climático.

### **1.2.2. PONDERAÇÕES PRELIMINARES – PROBLEMAS PRIORITÁRIOS DA HUMANIDADE**

A mensagem precedente ao alarmismo do aquecimento global é um *problema climático*. O problema climático se insere no rol de diversos outros *problemas ambientais* (desmatamento; queimadas; perda da biodiversidade; poluição do ar, água e solos; erosão e perda dos solos; alteração dos ciclos do nitrogênio, do fósforo etc.). Além de problemas ambientais, a humanidade enfrenta diversos outros tipos de *problemas sociais* (fome, pobreza, violência, precariedade da educação e serviços de saúde) e *problemas econômicos* (desigualdade tecnológica e no desenvolvimento industrial, má distribuição de renda e recursos, inflação, desemprego, questões trabalhistas e previdenciárias, endividamentos público e privado etc.). Nesse sentido, é necessário realizar algumas contextualizações e ponderações.

#### **1.2.2.1. A “emergência climática” é o maior problema ambiental contemporâneo?**

Buscando as raízes mais profundas dessa enorme “árvore” da temática mudanças climáticas, com suas inúmeras ramificações, a origem do problema começa na antiga discussão sobre a relação do Homem com a Natureza, do conflito entre *Economia x Ecologia*. A história demonstra que humanidade ainda parece “vencer” a batalha ao dominar e explorar o meio ambiente e seus recursos, acreditando (ilusória ou arrogantemente?) que não há limites para essa exploração. Por outro lado, já é amplamente notório o reconhecimento de que o natureza possui seus limites, impostos pela *capacidade de suporte*: os recursos são escassos e muitos deles não são renováveis. Tal hercúlea e triunfante “conquista” da humanidade, de dominação dos recursos naturais para satisfação de suas necessidades materiais, é expressada pelo fenômeno da “grande aceleração” (STEFFEN et al., 2015a), ocorrida nos “somente” últimos 250 anos, de uma história de mais de 10.000 anos da humanidade. No rastreamento dessa aceleração, nota-se a explosão dos efeitos da atividade humana na Terra por meio de uma série de parâmetros socioeconômicos e do sistema terrestre, incluindo: população, economia, uso de água, produção de alimentos, transporte, tecnologia, gases de efeito estufa (GEEs), temperatura da superfície e uso de recursos naturais etc. Pela **Figura 212** e pela **Figura 213**, fica evidenciado que, desde 1950, as tendências de indicadores socioeconômicos e ambientais estão aumentando significativamente, em ritmo exponencial.

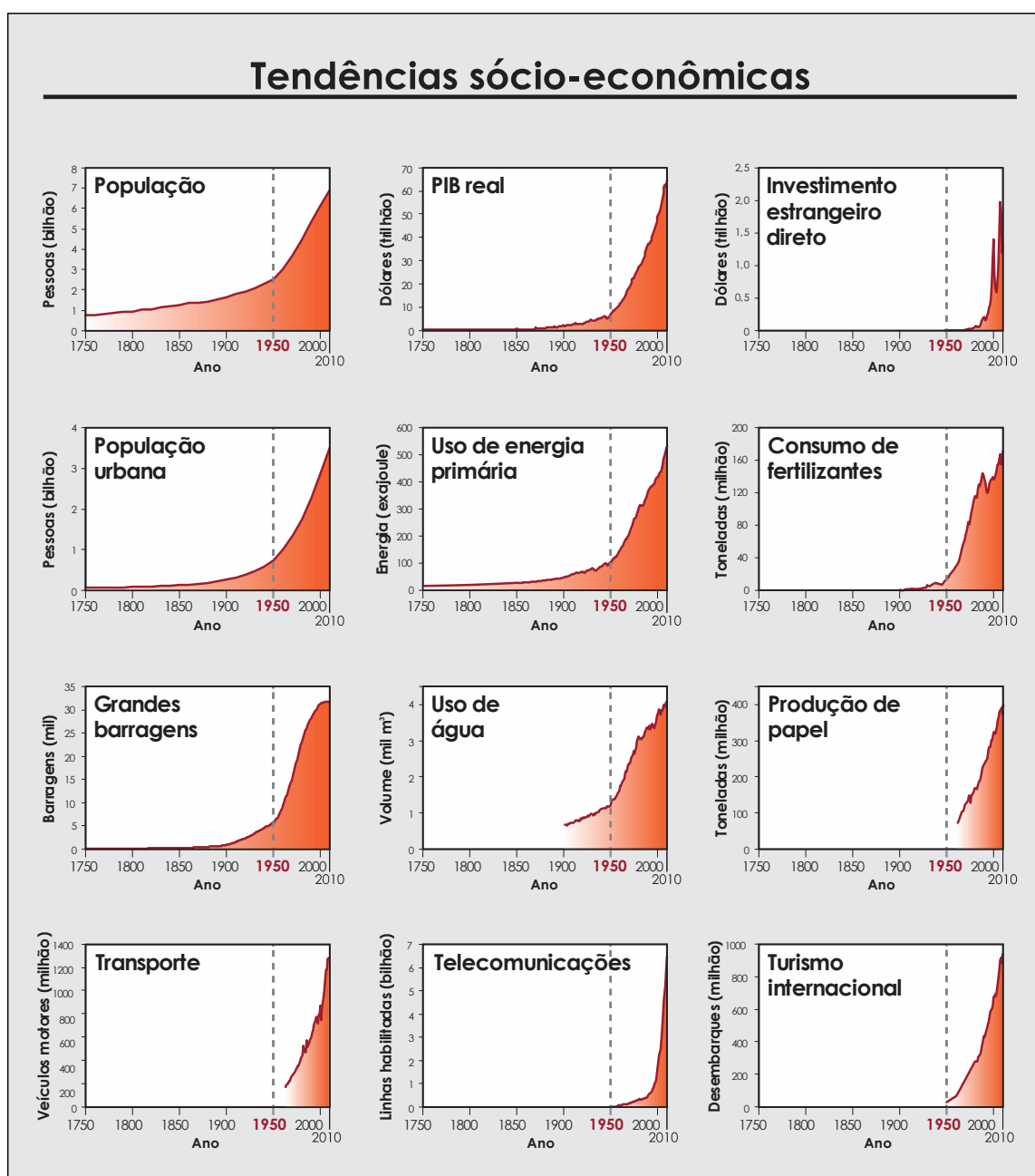
A exploração dos recursos naturais introduz uma tensão clara entre a manutenção da sustentabilidade ambiental e o desenvolvimento socioeconômico. Olhando para o acelerado ritmo de progresso humano, particularmente nos últimos 100 anos, é difícil medir o impacto real que as atividades teve no meio ambiente. Diante de tantos problemas ambientais globais, como saber quais deles são os mais críticos, urgentes, importantes e prioritários? Uma maneira de auxiliar nisso é usar a noção de “limites planetários”. Os limites ambientais indicam as faixas em que a vida na Terra pode se desenvolver “com segurança”, ou seja, define um “espaço operacional seguro” para a humanidade, com base em nove processos-chave que regulam a estabilidade e resiliência do sistema terrestre como um todo. O diagrama (**Figura 214**) fornece uma análise visual baseada na ciência do risco de as perturbações humanas desestabilizem sistema ecológico da Terra em escalas planetárias.

O diagrama propõe limites quantitativos para cada processo, dentro dos quais os mundos humano e natural podem continuar a prosperar. No diagrama, a zona verde é o “espaço operacional seguro”, o amarelo representa a

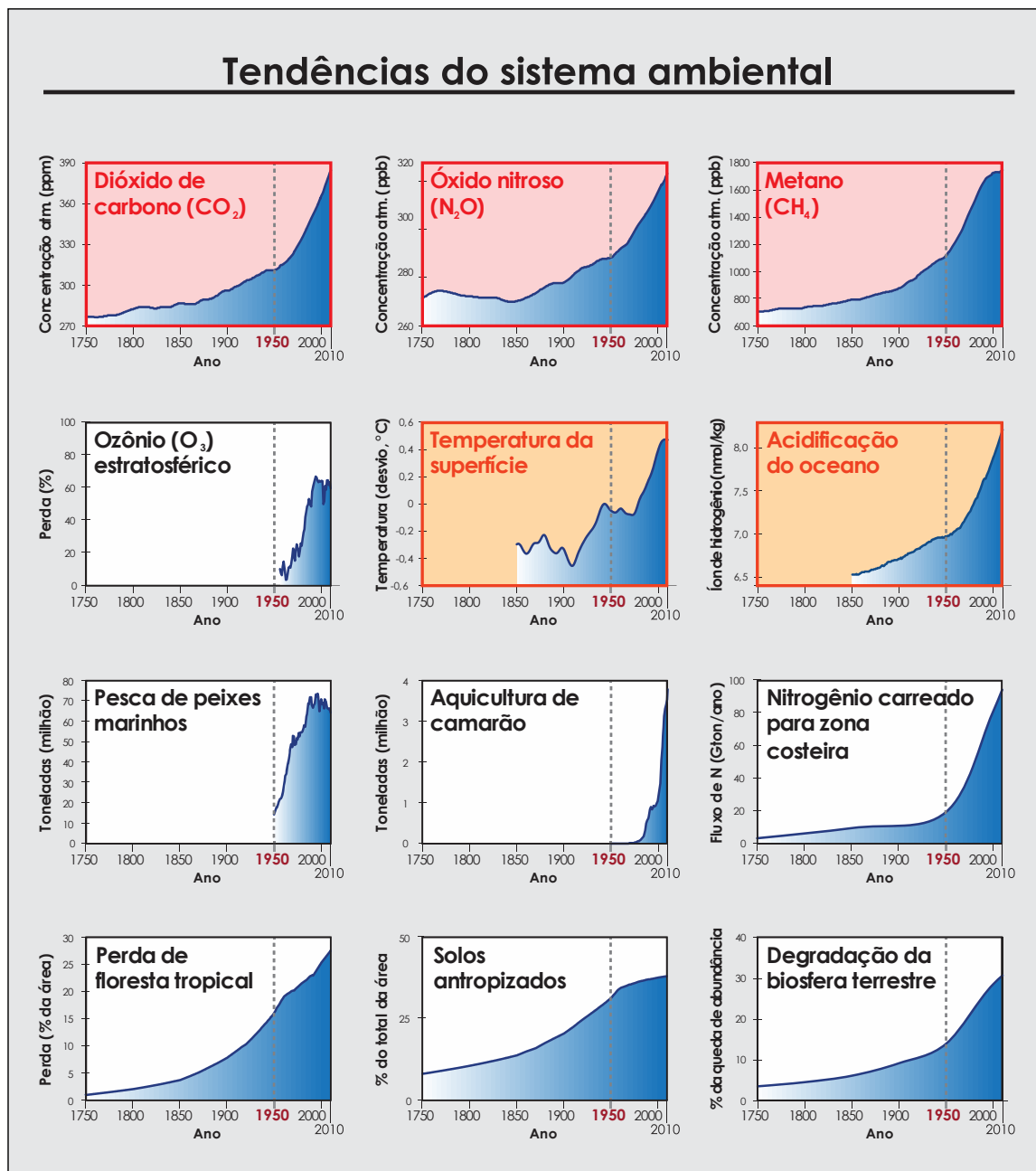
zona de incerteza (risco crescente) e o vermelho é uma zona de alto risco, definida quando há um risco crescente de gerar mudanças ambientais abruptas ou irreversíveis em grande escala. O limite planetário encontra-se na intersecção das zonas verde e amarela (circunferência laranja). Devido às lacunas na ciência para as fronteiras planetárias, também indica-se zonas cinzas para variáveis ainda não quantificadas. A pesquisa mostra que quatro das nove fronteiras planetárias já foram cruzadas (em ordem da variável com maior risco para a de menor risco): integridade da biosfera (diversidade genética),

ciclos biogeoquímicos (nitrogênio e fósforo), uso e ocupação dos solos, e mudanças climáticas.

Relatório de WWF (2020) ilustra as maiores ameaças à biodiversidade da Terra e o impacto que cada ameaça teve globalmente. Após identificar cinco ameaças principais, o relatório mostrou o impacto proporcional de cada uma delas, obtido pelas média de todas as regiões globais, conforme dados apresentados na **Tabela 7**. Nota-se que, em relação à ameaça aos ecossistemas e à biodiversidade, hoje as mudanças representam somente 6% da ameaça total.

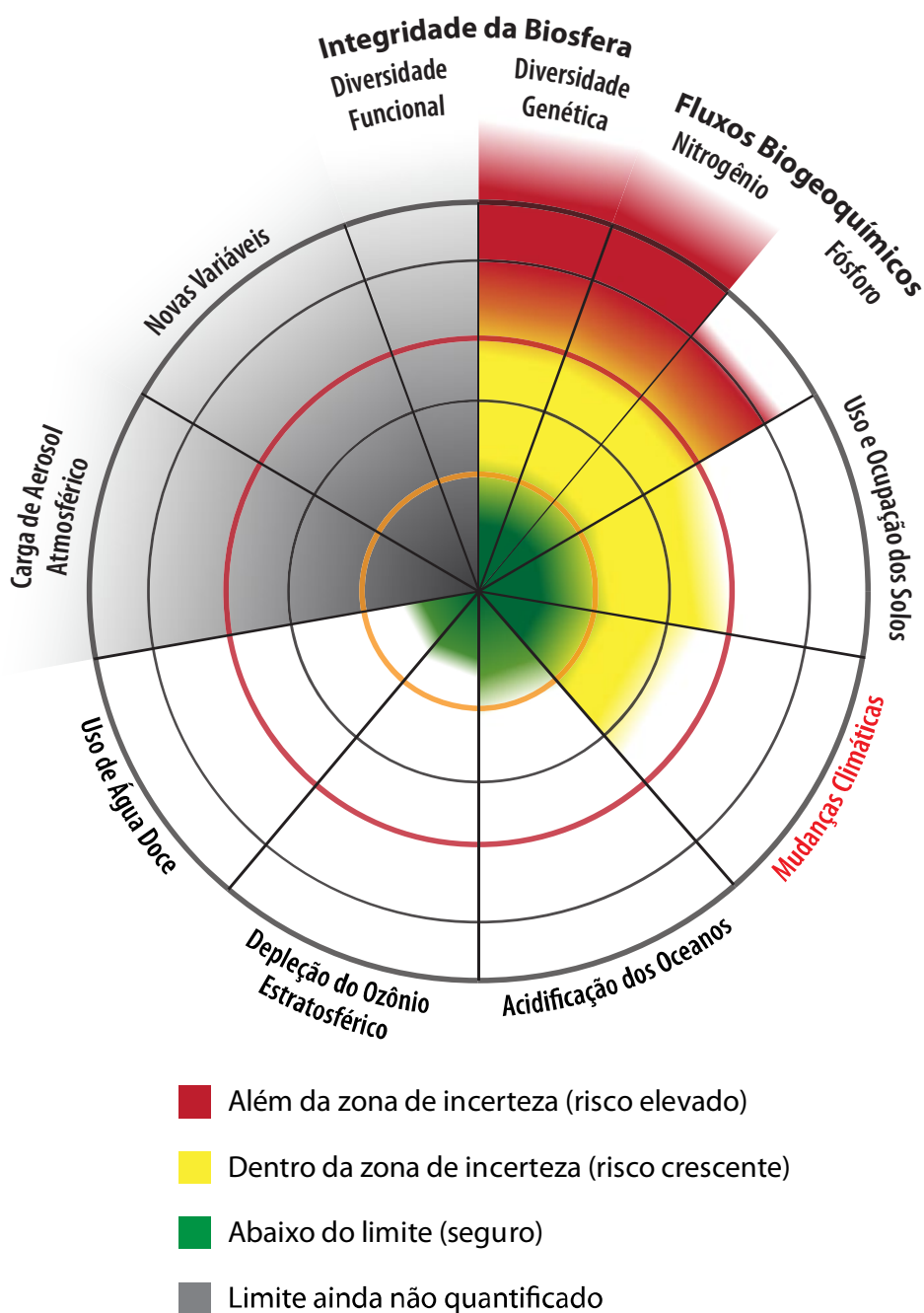


**Figura 212** – Tendências, de 1750 a 2010, de indicadores globalmente agregados sobre o desenvolvimento socioeconômico. Fonte: adaptado de Steffen et al. (2015a). Trabalho mais recente, de Ripple et al. (2020), apresenta gráficos semelhantes.



**Figura 213** – Tendências, de 1750 a 2010, nos indicadores de estrutura e funcionamento do sistema terrestre. Em destaque avermelhado nos três gráficos superiores, estão os três principais gases de efeito estufa (GEEs) antropogênicos. Em destaque alaranjado nos dois gráficos da segunda linha, estão dois efeitos da emissão de GEEs. Fonte: adaptado de Steffen et al. (2015a). Trabalho mais recente, de Ripple et al. (2020), apresenta gráficos semelhantes.





**Figura 214** – Situação atual das variáveis de controle para nove das fronteiras planetárias. Fonte: adaptado de Steffen et al. (2015b).

**Tabela 7** – Ameaças globais à biodiversidade da Terra e respectivas contribuições relativas dos impactos de cada ameaça.

Ameaça	Proporção de ameaça (média de todas as regiões)
Mudanças no uso da terra e do mar	50%
Superexploração de espécies	24%
Espécies invasoras e doenças	13%
Poluição	7%
Mudança Climática	6%

Fonte: elaborado a partir de compilação de dados de WWF (2020), págs. 19 e 20.

Existe uma impressão generalizada de o aquecimento global é o problema ambiental mais importante do mundo hoje. No entanto, há uma desconexão curiosa entre essa percepção e o tamanho real dos diferentes problemas ambientais.

A maneira mais simples de mostrar o tamanho dos diferentes problemas ambientais é observar o número de mortes humanas decorrentes de diferentes problemas ambientais. A **Figura 215** deixa claro que quase todas as mortes causadas por fatores ambientais decorrem majoritariamente da poluição do ar exterior (fonte: automóveis, indústrias e queimadas) e interior (fonte: aquecimento de casas e interior de indústrias), mais as mortes causadas pelo ozônio (poluição atmosférica); água e saneamento inseguros, além da falta da lavagem das mãos, contatos com chumbo (tóxico) e radônio (radioativo). O aquecimento global representa menos de 2% das mortes ambientais globais e 0,26% de todas as mortes globais (LOMBORG, 2020).



**Figura 215** – Mortes por fatores ambientais em 2017. Fonte: adaptado de Lomborg (2020).

Após contextualização de tantos outros problemas ambientais, conforme dados expostos até agora, é fácil compreender que as mudanças climáticas não são o principal problema ambiental a ser enfrentado pela humanidade.

A seguir, ao colocar as mudanças climáticas em uma perspectiva mais ampla em relação a outros tipos de problemas modernos, logo ele também deixará de ser visto como tão importante quanto costuma ser amplamente divulgado.

### I.2.2.2. A “emergência climática” é o maior de todos os problemas atuais da humanidade?

A mudança climática se tornou “a mãe de todos os problemas”. Ela é associada a diversos outros problemas, podendo exacerbá-los a níveis preocupantes.

Dizem que as mudanças climáticas poderão aumentar a fome e a miséria em todo mundo. O Banco Mundial (WORLD BANK, 2016) diz que as mudanças climáticas poderão levar mais de 100 milhões de pessoas à pobreza extrema até 2030. Mas e quanto aos atuais esfomeados e miseráveis que já vivem assim hoje, são eles flagelados exclusivamente por conta das mudanças climáticas recentes? Dados (WORLD BANK, 2020) do Banco Mundial apontam que, em 2015, vivia abaixo da linha da extrema pobreza (ganhando menos de US\$ 2/dia) cerca de 10% da população mundial. Essa porcentagem equivale a aproximadamente 700 milhões de pessoas! Ou, em outras palavras, a pouco mais de 3 vezes a população de todo Brasil!

Dizem que as mudanças climáticas aumentarão a escassez e acesso à água. O *World Resources Institute* (2019) atualizou seu Atlas de Risco Hídrico Global, revelando que 17 países (lares de 25% da população mundial) enfrentarão estresse hídrico “extremamente alto” em 20 anos (PARTIDA, 2019). Mas e os 2 bilhões de pessoas que, ainda hoje, não têm acesso à água potável em casa, bem como serviços de saneamento básico de coleta e tratamento de esgoto, seriam elas vítimas diretas do aquecimento global antropogênico?

E quanto ao aumento dos “refugiados climáticos”? A estimativa é que existam cerca de 200 milhões de migrantes climáticos até 2050 (BROWN, 2008). Este número é assustador<sup>348</sup>, representando um aumento de dez vezes em relação ao total de refugiados documentados e populações deslocadas internamente. Mas e quanto aos atuais refugiados que fogem de suas terras em virtude dos conflitos armados [hoje cerca de são 50 em todo mundo, conforme Dupuy e Rustad, (2018)], perseguições étnicas, religiosas e políticas, seriam essas pessoas exiladas por conta das questões climáticas?

Na seara dos problemas ambientais, também falam que as mudanças climáticas podem causar seca e a “savanização” da Amazônia (WYATT, 2020), a exuberante maior floresta tropical do mundo. Mas esquecem de enfatizar que o real vilão, hoje, é a prática do desmatamento ilegal, seguido por outras atividades ilícitas, como a pecuária e agricultura irregulares nesses solos indevidamente desmatados, sem

<sup>348</sup> Colocando o número em perspectiva, isso significaria que, em 2050, uma em cada 45 pessoas no mundo seria deslocada devido às mudanças climáticas. Também ultrapassaria a atual população migrante global. De acordo com a Organização

Internacional para as Migrações (OIM), cerca de 192 milhões de pessoas (ou 3% da população mundial) vivem hoje fora de seu local de nascimento (BROWN, 2008).

falar dos elevados impactos do garimpo ilegal. Ou seja, não são as mudanças climáticas que causam o problema da atual ameaça ao bioma amazônico. Entendendo as verdadeiras razões dos problemas é o caminho ideal para solucioná-los. A manutenção da floresta de pé são justificados pela sua rica biodiversidade e importância do equilíbrio ecossistêmico, que pode ser sim compatível com o uso sustentável<sup>349</sup> e socialmente justo.

Muitos dos problemas para os quais se alega um aumento preocupante no futuro, já são hoje problemas presentes e preocupantes. Todavia, esses grandes flagelos da humanidade são simplesmente ignorados por boa parte da sociedade moderna, como se hoje não houvesse motivos e prioridade para serem efetivamente resolvidos por si só, sem ter que depender de qualquer motivação associada às questões climáticas.

Logo, as mudanças climáticas não são a causa exclusiva nem primordial dos principais problemas mundiais hoje existentes; e não deveriam ser indevidamente utilizadas como subterfúgio justificador do pregado aumento dos males da sociedade no futuro. Caos existisse um real interesse em empenhar esforços no combate às crueldades praticadas contra vidas humanas contemporâneas, não haveria sentido em insistir na criação de um único grande problema (as mudanças climáticas), a partir do qual todas as demais adversidades se derivariam. Em outras palavras, não é necessário criar um novo problema para justificar a solução de tantos outros problemas já existentes e preocupantes.

Os dados indicam que, na prática, muitas pessoas não estão preocupadas com as mudanças do clima lá em um futuro de perder à vista, mas estão sim apreensivas com as mudanças imediatas em suas vidas hoje, nos desafios de cada dia para viver bem. As mudanças climáticas futuras envolvem muitas incertezas: pode ser que aconteçam catástrofes climáticas, mas pode ser também que não aconteça (incerteza da ocorrência); se algo acontecer até o final do século, ainda está muito longe para isso (escala temporal distante); talvez não seja tão grave assim (incerteza na magnitude dos impactos). Então porque se preocupar tanto com um risco de ocorrência incerta que, se ocorrer, parece tão distante, em um futuro no qual, inclusive, provavelmente muitos não estarão mais vivos e nem mesmo sofrerão com possíveis tragédias? A luta cotidiana da maioria das pessoas é lidar

com fatos certos, riscos e perigos reais, não só potenciais, de impactos iminentes e visivelmente presentes.

Na esfera pessoal, quando colocamos diversos problemas concorrendo uma atenção vinculada a uma capacidade limitada de avaliação, utilizamos de nosso poder de ponderação, análise e de escolha: o que é mais importante? O que é mais imediato e precisa ser resolvido agora? E o que pode ser deixado para depois? O imediatismo exigido pela sobrevivência compele à priorização de demandas e satisfação de necessidades urgentes. Com isso, a reação instintiva mais óbvia é se preocupar com o que está de fato acontecendo hoje, agora, e não o que pode ser que ocorra no futuro longínquo, daqui a 50 ou 100 anos.

Extrapolando os problemas da humanidade para o nível global, pode-se citar algumas referências internacionais que norteiam prioridades dos desafios a serem enfrentados em todo mundo. O primeiro deles são os *Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM)*<sup>350</sup> estabelecidos após a Cúpula do Milênio das Nações Unidas em 2000. Contemplando oito objetivos de desenvolvimento internacional, os ODM tinham como meta resolver, até 2015, os seguintes desafios:

- Erradicar a pobreza extrema e a fome;
- Alcançar o ensino primário universal;
- Promover a igualdade de gênero e empoderar as mulheres;
- Reduzir a mortalidade infantil;
- Melhorar a saúde materna;
- Combater o HIV/AIDS, a malária e outras doenças;
- Garantir a sustentabilidade ambiental; e
- Desenvolver uma parceria global para o desenvolvimento.

Apesar de não dito explicitamente, a ordem dos objetivos parece transparecer uma preferência entre os desafios elencados, ou seja, os problemas possuem níveis decrescentes de prioridade (ou seja, o primeiro problema é o mais prioritário). Também nota-se que problemas de categorias sociais, educacionais e de saúde estão classificados entre os mais prioritários, e o objetivo 7 (categoria ambiental), está em penúltimo lugar nessa lista. Até então no ODM, não havia menção sobre questões climáticas.

Em 2016, os ODM foram sucedidos pelos *Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)*<sup>351</sup>, que possuem o ano de 2030 como a data limite para conquistar 17 objetivos:

<sup>349</sup> A Amazônia precisa sim, hoje, de um lado, o controle e fiscalização das atividades madeireiras, agropecuárias e de garimpo ilegais, por meio do fortalecimento dos órgãos de fiscalização (IBAMA e ICMBio), com aumento de recursos humanos (abertura de concursos e aumento do número de fiscais) associados ao aumento de recursos financeiros e de equipamentos (viaturas, helicópteros, armamentos etc.). E, do outro lado, o governo deve oferecer e fomentar alternativas de exploração sustentável da floresta, mediante ferramentas já disponíveis hoje como o Plano de Manejo,

ecoturismo, extração e beneficiamento sustentável de recursos da fauna e flora, associados à autonomia e subsistência das comunidades locais.

<sup>350</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Millennium\\_Development\\_Goals](https://en.wikipedia.org/wiki/Millennium_Development_Goals)

<sup>351</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Sustainable\\_Development\\_Goals](https://en.wikipedia.org/wiki/Sustainable_Development_Goals)

1. Erradicação da pobreza
2. Fome zero e agricultura sustentável
3. Saúde boa e bem-estar
4. Educação de qualidade
5. Igualdade de gênero
6. Água limpa e saneamento
7. Energia limpa e acessível
8. Trabalho decente e crescimento econômico
9. Indústria, inovação e infraestrutura
10. Redução das desigualdades
11. Cidades e comunidades sustentáveis
12. Consumo e produção responsáveis
13. Ação climática
14. Vida aquática
15. Vida terrestre
16. Paz, Justiça e instituições fortes
17. Parcerias e meios de implementação das metas

Os aspectos ambientais, que antes possuíam somente um item entre os oito ODM, passaram a integrar 8 itens no ODS (2, 6, 7, 11, 12, 13, 14 e 15), entre eles a “ação climática” (objetivo 13). A ordem dos objetivos no ODS parece seguir uma boa correspondência com os objetivos do ODM e, portanto, infere-se que a lógica é a mesma: o primeiro objetivo indica ser o mais prioritário.

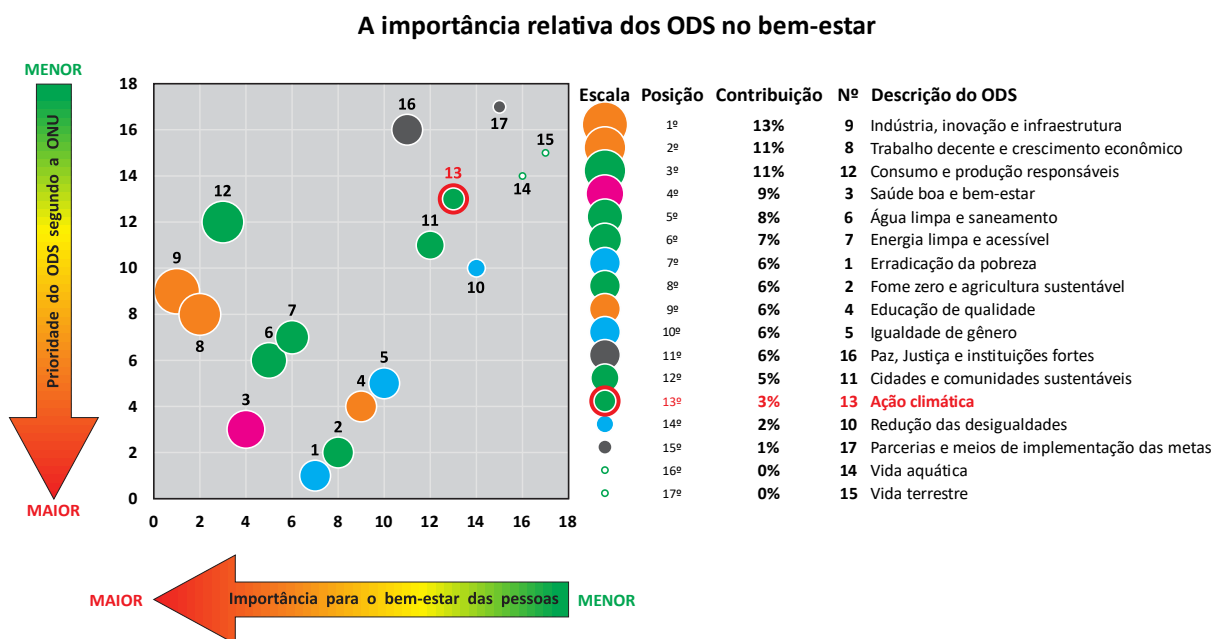
A ordem dos desafios e objetivos no ODM e no ODS foram definidos pelos países da ONU em convenções internacionais. Esses objetivos e respectivos níveis de prioridade refletem uma carta de intenções que foram discutidas e acordadas diplomaticamente pelos líderes políticos de todo mundo. No entanto, a representatividade desses objetivos nem sempre tem a mesma correspondência na importância subjetiva no dia-a-dia das pessoas. Com base no *Relatório Mundial da Felicidade* de 2020 (HELLIWELL et al., 2020), foram compilados dados que correlacionam o desenvolvimento sustentável com o nível de bem-estar subjetivo<sup>352</sup> em todo mundo. Existe uma forte correlação entre alcançar o desenvolvimento sustentável

e medidas autorrelatadas de bem-estar. Quanto mais próximos as pessoas estão dos ODS, maiores são os seus níveis de bem-estar. No referido relatório, também considerou-se como cada ODS e respectivas categorias (social, ambiental, econômico, saúde e legislação) contribuíram para a composição do bem-estar das pessoas.

Com os dados do supracitado relatório, elaborou-se a **Figura 216**, na qual confronta-se: a priorização do ODS (em ordem conforme estabelecido pela ONU), escala vertical; e a importância relativa do ODS na composição do bem-estar das pessoas (conforme pesquisa de opinião), escala horizontal. Percebe-se que, apesar da ordem definida no ODS, a ordem “sentida” das pessoas indica que alguns aspectos são mais importantes para a formação do seu bem-estar: os primeiros 5 aspectos contribuem com metade (52%) do bem-estar, sendo que os dois primeiros (indústria e emprego), da categoria “econômico”, representam quase um quarto (24%) do peso na composição total. Já o ODS nº 1 (erradicação da pobreza) aparece na sétima posição, com uma contribuição de apenas 6% no bem-estar das pessoas. O ODS nº 13 (ação climática) aparece na 13ª posição, com uma contribuição de ínfimos 3% no bem-estar das pessoas.

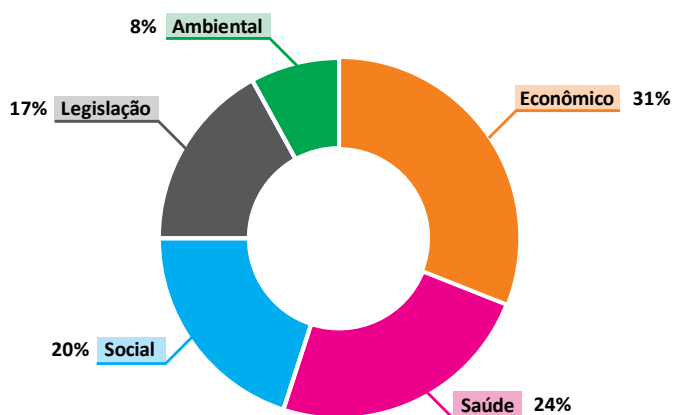
Complementando a constatação fornecida pela **Figura 216**, as categorias do ODS foram agrupadas, confrontadas e proporcionalmente ponderadas com a importância relativa na variância do bem-estar entre os países, resultando na **Figura 217**. Pelo gráfico, os ODS da categoria “econômico” representam o fator de maior importância na composição do bem-estar geral das pessoas, seguido pelos ODS das categorias “saúde” (com 24% de contribuição) e “social” (com 20%). Os ODS categorizados como “ambiental” representam uma importância de somente 8% no bem-estar geral das pessoas.

<sup>352</sup> Esse nível de bem-estar é obtido ao pedir aos entrevistados avaliar os aspectos de suas vidas em uma escala de 0 a 10, sendo 0 o pior possível, e 10 o melhor possível.



**Figura 216** – Importância relativa do ODS no bem-estar. Comparação entre a priorização do ODS (em ordem conforme estabelecido pela ONU), escala vertical; e a importância relativa do ODS na composição do bem-estar das pessoas. Fonte: elaborado a partir de dados de Helliwell et al. (2020), pg. 122.

#### A importância relativa dos ODS na variância do bem-estar entre os países



**Figura 217** – Importância relativa dos ODS na variância do bem-estar entre os países. Fonte: elaborado a partir de dados de Helliwell et al. (2020), pg. 123.

Apesar de uma ordem definida pelos governos no ODM ou ODS, as pessoas costumam ponderar demandas mais urgentes e imediatas, conforme já discutido antes. Nesse sentido, os aspectos relacionados à economia (ODS 9 – indústria; e ODS 8 – emprego) e à sobrevivência básica (ODS 12 – consumo; ODS 3 – saúde; ODS 6 – água; e ODS 7 – energia) são, portanto, os mais importantes para as pessoas atingirem seu bem-estar.

O bem-estar obtido nos dados anteriores é subjetivo e limitado, sendo representativo somente à amostra de pessoas que foram entrevistadas. Tais opiniões

certamente não correspondam à totalidade da população mundial, pois é bastante provável que as pessoas muito pobres, passando fome e sem acesso à água (e muito menos acesso à telefone e Internet), não foram selecionadas para serem entrevistadas no âmbito do Relatório Mundial da Felicidade.

Na corrida para definir as metas globais dos ODS, a ONU realizou uma pesquisa global de prioridades, cobrindo quase 10 milhões de pessoas, como pode ser visto na **Figura 218**. Embora seja apenas semi-representativo, é a única pesquisa ampla e global desse tipo que tenta capturar diretamente as prioridades do

mundo. Foi pedido às pessoas que priorizassem 16 questões importantes, e os itens classificados foram muito claros: educação, saúde, empregos, fim da corrupção e nutrição. As “ações contra as mudanças climáticas” veio em último lugar nessa lista de 16 itens. Claramente, a humanidade pode enfrentar mais problemas ao mesmo tempo. No entanto, é claro que não lidamos com todos os problemas de uma só vez. Portanto, é importante descobrir primeiro onde os recursos podem fazer o melhor. A análise de custo-benefício pode ser uma ferramenta poderosa para ajudar a indicar quais políticas podem fazer mais o bem.

Lomborg (2020) apresentou estimativas de quanto os problemas globais custaram ao mundo em uma ampla gama de questões, medida em porcentagem do PIB global (Figura 219). Todas as análises estimaram o custo de não resolver o problema – portanto, o custo da desnutrição é estimado estabelecendo o quanto o mundo teria sido mais rico a cada ano se todos estivessem bem alimentados e, portanto, mais produtivos e menos doentes. Da mesma forma para a saúde (quão mais rico o mundo seria sem doenças facilmente curáveis) e para a educação (se grande parte do mundo não fosse analfabeto por gerações). Para fins de comparabilidade, apenas parte de um problema foi

investigado (o problema do analfabetismo é apenas parte do desafio educacional), portanto, estes são definitivamente subestimados. Ainda assim, a visão geral da Figura 219 mostra como o mundo mudou drasticamente em direção a problemas menores. Também põe em perspectiva o desafio das mudanças climáticas: sim, é um problema, mas não é o “fim do mundo”.



Figura 218 – Principais prioridades globais, organizadas pela ONU, contabilizando votos de 9,7 milhões de pessoas em todo o mundo. Adaptado de Lomborg (2020).

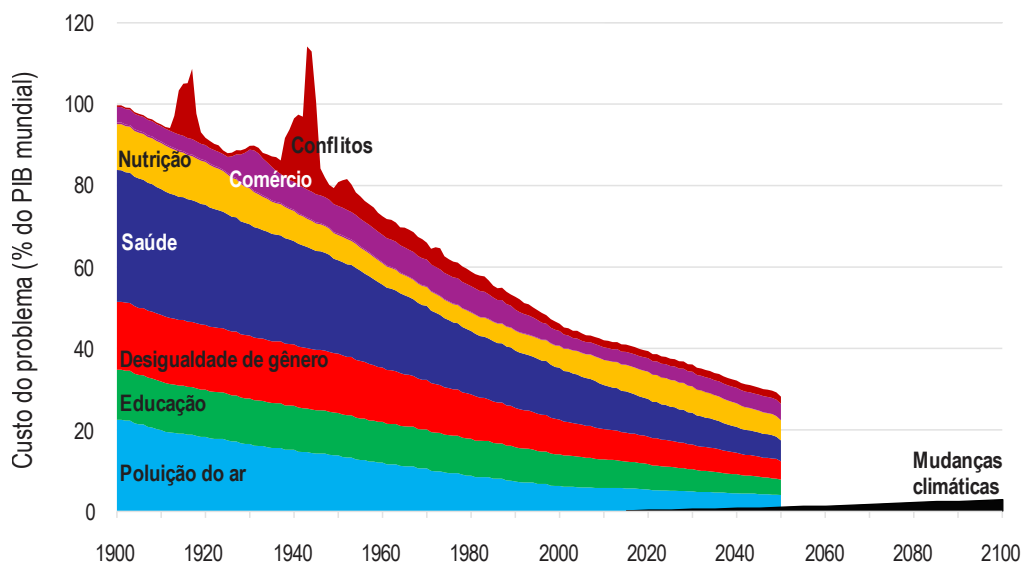


Figura 219 – Custos dos problemas mundiais, 1900-2050. A estimativa para cada problema mostra o quão mais rico o mundo teria sido se certos problemas tivessem sido resolvidos (então pode somar mais de 100%). Para referência, apresenta-se quão mais rico o mundo seria se não houvesse o aquecimento global, 2015-2100. Adaptado de Lomborg (2020).

Até aqui, percebe-se que, quando medida em termos de mortes humanas, a mudança climática está longe de ser o desafio ambiental mais importante que a humanidade enfrenta, sendo menos mortal do que a poluição do ar exterior, poluição do ar interior, água insegura, falta de saneamento, falta de lavagem das mãos,

ou mortes por chumbo ou radônio. Além disso, a análise do custo dos problemas globais mostra que o mundo mudou drasticamente em direção a problemas menores e coloca o desafio da mudança climática em um contexto que ainda prevalecem outros problemas maiores.

Por fim, diante de tantos problemas mundiais, e com recursos escassos, é preciso priorizar, escolhendo, primeiro, as causas de maiores valores sociais. Nesse sentido, concorda-se com a abordagem de Lomborg (2007)<sup>353</sup>, o qual enfatiza a solução dos grandes problemas do mundo por meio da priorização racional fundamentada na análise econômica. Em uma escala maior, é isso que sustenta o projeto *Consenso de Copenhague*<sup>354</sup>, cujo objetivo estabelece prioridades

entre uma série de propostas para enfrentar os grandes desafios globais. A edição de 2004 do referido Consenso, a partir de desafios selecionados a partir de um conjunto de questões identificadas pela ONU, estabeleceu uma lista classificada de “desafios reais, para pessoas reais, no mundo real”. O painel de especialistas classificou as propostas em ordem decrescente de conveniência, conforme apresentado na **Tabela 8**.

**Tabela 8** – Classificação de grandes desafios globais, segundo o Consenso de Copenhague de 2004.

DESAFIO	OPORTUNIDADE
<b>MUITO FAVORÁVEL</b>	
1. Doenças transmissíveis	Controle de HIV/AIDS
2. Desnutrição e fome	Fornecimento de micronutrientes
3. Subsídios e barreiras comerciais	Liberalização comercial
4. Doenças transmissíveis	Controle de malária
<b>FAVORÁVEL</b>	
5. Desnutrição e fome	Desenvolvimento de novas tecnologias agrícolas
6. Saneamento e água	Tecnologia de água em pequena escala para subsistência
7. Saneamento e água	Abastecimento de água e saneamento administrado pela comunidade
8. Saneamento e água	Pesquisa sobre produtividade da água na produção de alimentos
9. Governança e corrupção	Redução do custo de iniciar um novo negócio
<b>RAZOÁVEL</b>	
10. Migrações	Redução das barreiras à migração para trabalhadores qualificados
11. Desnutrição e fome	Melhoramento da nutrição infantil
12. Doenças transmissíveis	Ampliação de serviços básicos de saúde
13. Desnutrição e fome	Redução da prevalência do baixo peso ao nascer
<b>DESAVORÁVEL</b>	
14. Migrações	Programas de convite e treinamento de trabalhadores não qualificados
15. Mudanças climáticas	Taxa de carbono ideal
16. Mudanças climáticas	O Protocolo de Quioto
17. Mudanças climáticas	Imposto sobre o valor em risco do carbono

Fonte: adaptado de Lomborg (2006).

Nota-se na **Tabela 8** que, no topo da lista de prioridades estabelecidas pelo painel de especialistas, estão os problemas básicos que afetam bilhões de pessoas em todo o mundo. Novas tecnologias, crescimento econômico e desenvolvimento melhoraram as condições de vida de muitas pessoas. No entanto, persiste a necessidade premente – e básica – de um abastecimento alimentar adequado e previsível e a expectativa de boa saúde. Quanto aos desafios das mudanças climáticas (destacado em vermelho), eles constam no final da lista de prioridades. Os especialistas não ignoram que a

mudança climática é importante. Mas, para alguns dos países mais pobres do mundo, que serão adversamente afetados pelas mudanças climáticas, problemas como HIV/AIDS, fome e malária são mais prementes e podem ser resolvidos com mais eficácia.

Na última edição do Consenso, de 2012, conforme é destacado na **Tabela 9**, a lista de desafios e soluções aumentou, totalizando 30 itens. Constata-se que os desafios relacionados às mudanças climáticas (itens 6, 12 e 17, destacados em vermelho) passaram a ocupar posições intermediárias e superiores na lista.

<sup>353</sup> O autor Bjorn Lomborg ficou mundialmente conhecido com seu livro *“The Skeptical Environmentalist”*, de 2001. Também foi autor de outros livros na mesma linha: *“Cool It: The Skeptical Environmentalist’s Guide to Global Warming”*, de 2007; e, mais

recentemente, o *“False Alarm: How Climate Change Panic Costs Us Trillions, Hurts the Poor, and Fails to Fix the Planet”*, de 2020.

<sup>354</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Copenhagen\\_Consensus](https://en.wikipedia.org/wiki/Copenhagen_Consensus)

**Tabela 9** – Classificação de grandes desafios globais, segundo o Consenso de Copenhague de 2012.

DESAFIO	SOLUÇÃO
1. Fome e Educação	Intervenções para reduzir a subnutrição em crianças em idade pré-escolar
2. Doença infecciosa	Subsídio para tratamento combinado de malária
3. Doença infecciosa	Cobertura expandida de imunização infantil
4. Doença infecciosa	Desparasitação de crianças em idade escolar
5. Doença infecciosa	Expansão do tratamento da tuberculose
6. Fome, biodiversidade e <b>mudanças climáticas</b>	Pesquisa e desenvolvimento para aumentar a produtividade agrícola
7. Desastres naturais	Investir em sistemas eficazes de alerta precoce
8. Doença infecciosa	Fortalecimento da capacidade cirúrgica
9. Doença crônica	Imunização contra hepatite B
10. Doença crônica	Medicamentos de baixo custo para ataque cardíaco agudo
11. Doença crônica	Campanha de redução de sal
<b>12. Mudanças climáticas</b>	<b>Pesquisa e Desenvolvimento de geoengenharia</b>
13. Educação	Transferências condicionais de dinheiro para frequência escolar
14. Doença infecciosa	Pesquisa e desenvolvimento acelerado de vacinas anti-HIV
15. Educação	Campanha informativa sobre os benefícios da escolaridade
16. Água e saneamento	Intervenção para instalação de poços públicos e bombas manuais
<b>17. Mudanças climáticas</b>	<b>Aumento do financiamento para pesquisa e desenvolvimento de energia verde</b>
18. Crescimento populacional	Aumentar a disponibilidade do planejamento familiar
19. Doença crônica	Comprimido genérico para redução do risco de ataque cardíaco
20. Água e saneamento	Saneamento total liderado pela comunidade
21. Água e saneamento	Saneamento como negócio
22. Doença crônica	Aumento da tributação do tabaco
23. Desastres naturais	Diques comunitários contra inundações
24. Água e saneamento	Novos projetos de banheiros
25. Biodiversidade	Protegendo todas as florestas
26. Desastres naturais	Adaptando escolas para resistir aos danos do terremoto
27. Fome	Mensagens de aviso de colheita
28. Biodiversidade	Extensão de Áreas Protegidas
29. Desastres naturais	Fortalecimento de estruturas contra furacões e tempestades
30. Desastres naturais	Elevando estruturas residenciais para evitar inundações

Fonte: adaptado de Copenhagen Consensus Center (2012).

Encerra-se esse tópico sugerindo o livro de Dodds (2019), uma referência bem completa que usa ciência e fatos para abordar os problemas mundiais. O autor estabeleceu uma estrutura geral para explorar os problemas mais prevalentes da humanidade ou aqueles que ameaçam a existência continuada da humanidade ao máximo. Para seleção dos principais problemas globais, considerou-se: 1. Causas de morte e sofrimento agora; 2. Potenciais de morte catastrófica e sofrimento no futuro; e 3. Ameaças à estabilidade de longo prazo da sociedade e do meio ambiente que nos sustenta. Assim, o autor determinou o grau relativo de ameaça representado por cada um dos piores problemas selecionados. Após o estabelecimento de causas e efeitos dos problemas, foram abordadas as respectivas soluções de maneira lógica, considerando quanto elas custariam bem como os aspectos sociais, econômicos e políticos que precisam ser considerados para encontrar as melhores respostas.

No que interessa aqui, destaca-se do supracitado livro a descrição elaborada pelo autor por meio de um índice para classificar os problemas. Primeiro, os piores problemas do mundo foram segregados e quatro categorias

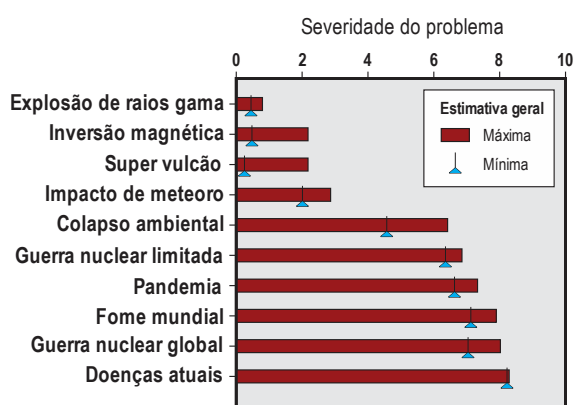
gerais: 1. Fome; 2. Doenças; 3. Armas nucleares; e 4. Impactos ambientais globais. Depois, criou-se um *índice de severidade do problema mundial* a partir de estimativas da taxa de mortalidade atual, taxa de sofrimento atual, taxa de mortalidade futura e taxa de sofrimento futura. Tal índice de severidade varia de 2 a 10, sendo que 10 indica que 100% a população humana é morta em decorrência do problema; 9 indica que 10% morre; 8 indica que 1% morre; e assim sucessivamente, até chegar no índice com valor igual a 2, onde 0,000001% morre – ou seja, quando o índice de severidade tem o valor 2, então morrem 75 pessoas, caso a população seja de 7,5 bilhões.

A severidade geral do problema é calculada somando a morte e o sofrimento atuais de cada causa e a morte e o sofrimento potenciais. Em geral, os problemas de causas naturais (explosão de raios gama, inversão magnética, supervulcão e impacto de meteoros) são menos graves do que os problemas causados por humanos. A fome no mundo e as doenças atuais são as principais preocupações com relação às mortes e ao sofrimento agora. O sofrimento potencial é maior nas categorias de colapso ambiental, guerra nuclear limitada e pandemias.



Olhando o somatório geral da gravidade dos problemas (Figura 220), a guerra nuclear em geral (e particularmente se considerar juntas a guerra global e a guerra nuclear limitada) é um problema extremamente preocupante. As doenças atuais também são um problema global importante. As futuras pandemias foram consideradas separadamente das doenças atuais<sup>355</sup>. Isso ocorre porque muitas das mortes atuais por doenças são evitáveis e previsíveis. Fornecer alimentos, água potável, saneamento básico, vacinas e acesso geral a cuidados médicos poderia reduzir drasticamente essas taxas. Em contraste, a prevenção de pandemias requer aumento da capacidade de resposta rápida a novos agentes de doenças, planos para limitar a disseminação de novas doenças emergentes e medidas para minimizar a transferência de doenças de populações de animais não humanos para populações humanas. O colapso ambiental global tem o potencial de causar um sofrimento considerável no futuro, mas a incerteza é maior sobre isso do que alguns dos outros problemas causados pelo homem, então a variação é maior nas estimativas.

A partir de variados estudos científicos, pode-se perceber que a opinião dos especialistas parece contrariar a opinião geral das pessoas, quando perguntadas sobre se estão preocupadas com as mudanças climáticas<sup>356</sup>. Quando se pergunta de forma isolada, as pessoas não titubeiam em afirmar que é um tema superimportante. Mas quando estudos e pesquisas levam em conta e comparam com outros problemas típicos da vida, a temática sobre o clima é colocada em uma perspectiva relativa de importância, perdendo relevância perante demais problemas e desafios.



**Figura 220** – Severidade geral dos grandes problemas mundiais. O índice é calculado somando, de cada causa, a morte e o sofrimento atuais e a morte e o sofrimento potenciais. O intervalo entre as estimativas máximas e mínimas também é gerado por estimativas otimistas e pessimistas de ameaças. Adaptado de Dodds (2019).

Está particularmente na moda entre os políticos e membros da mídia se preocuparem com as mudanças climáticas, a “ameaça global de nosso tempo”. Percebe-se, no entanto, que a maior ameaça que a humanidade enfrenta é a pobreza. Esse é um tópico mundano, que não é atraente, preocupante nem moderno, mas mesmo assim é verdade.

Em 2010, cerca de 1,2 bilhão de pessoas não tinham acesso à eletricidade, o que representa 17% da população mundial no escuro. A falta de cuidados de saúde adequados explica por que, nos países mais pobres do mundo, seis das dez principais causas de morte são doenças infecciosas: infecções respiratórias, diarreia, AIDS, malária, tuberculose e infecções neonatais. Especialistas em saúde globais também se preocupam com a desnutrição, e por um bom motivo: de 250.000 a 500.000 crianças ficam cegas anualmente por deficiência de vitamina A, metade das quais morre em 12 meses. (BEREZOW, 2013).

Essas tristes estatísticas não serão encontradas na primeira página (ou em qualquer página) dos jornais e artigos na *Internet*. Pensar e compreender isso tudo pode apenas começar a mudar a perspectiva sobre as prioridades globais. Basicamente, o que a pessoa média no mundo ocidentalizado considera ser um grande problema raramente está alinhado com a realidade. Em vez disso, as preocupações “globais” (nem sempre tão representativas) são mais um reflexo do que nossa cultura e a mídia dizem o que nossas preocupações deveriam ser.

As consequências das mudanças climáticas, como possível o agravamento da escassez de alimentos e água ou a aceleração da propagação de doenças, pode simplesmente exacerbar problemas pré-existentes que precisariam ser resolvidos independentemente de as mudanças climáticas estarem ocorrendo ou não. Enfrentar os problemas reais do mundo não torna a televisão e a *Internet* empolgantes, como assistir a um “alarmista” do clima e um “negacionista” do clima gritarem um com o outro. Mas enxergar o contexto geral dos verdadeiros desafios da humanidade e saber priorizá-los é a coisa certa a se fazer. E essa motivação deve ser suficiente para agir de acordo, com inteligência e o máximo de eficiência na solução dos problemas realmente mais urgentes.

<sup>355</sup> No ano da publicação do livro, 2019, ainda não havia sido deflagrada a pandemia global da COVID-19.

<sup>356</sup> Conforme será demonstrado nos itens “1.2.6.1. Níveis de interesse das pessoas”, pg. 511 e “1.2.6.2. Níveis de preocupação das pessoas”, pg. 514.

### I.2.2.3. Concorrência e prevalência dos problemas

Embora a “consciência” e a “preocupação” geral sobre as mudanças climáticas tenham geralmente aumentado em todo o mundo durante as últimas décadas<sup>357</sup>, o público ainda classifica as mudanças climáticas como uma prioridade baixa em comparação com muitas outras questões sociais, como terrorismo, saúde e economia. Este baixo senso de urgência é parcialmente devido ao fato de que a mudança climática é um conceito estatístico abstrato que se refere a mudanças de longo prazo na variabilidade do clima da Terra. Além disso, a natureza lenta, cumulativa e não localizada da mudança climática a torna difícil de ser percebida e experimentada diretamente pelas pessoas.

Segundo uma “hierarquia de preocupação” construída por van der Linden (2017), um indivíduo pode pensar que as mudanças climáticas (e impactos associados) são prováveis de ocorrer, mas isso não significa que ele também percebe as mudanças climáticas como um problema sério. Por sua vez, um indivíduo pode perceber que a mudança climática é um problema sério, mas isso não significa necessariamente que ele esteja preocupado com isso. Finalmente, embora o público possa expressar preocupação generalizada sobre as mudanças climáticas, isso geralmente não significa que as pessoas também se preocupem pessoalmente com a questão ou pensem que é uma alta prioridade.

No final do dia, as pessoas só conseguem se preocupar com um número limitado de coisas ao mesmo tempo. A preocupação crescente com um risco político (por exemplo, terrorismo), normalmente reduz a preocupação com outro risco social (por exemplo, aquecimento global). Além disso, a preocupação costuma ser um processo emocional desgastante. O custo da

preocupação é, portanto, provavelmente cumulativo, de modo que quanto mais as pessoas se preocupam com um problema, mais tempo leva para se regenerar. Muitos estudos mostram que, à luz de questões como segurança nacional, economia, saúde e outras questões ecológicas, como escassez de água, o aquecimento global geralmente continua sendo uma prioridade baixa para a maioria das pessoas, ocupando consistentemente os níveis mais baixos do finito “estoque de preocupação”<sup>358</sup>. (VAN DER LINDEN, 2017).

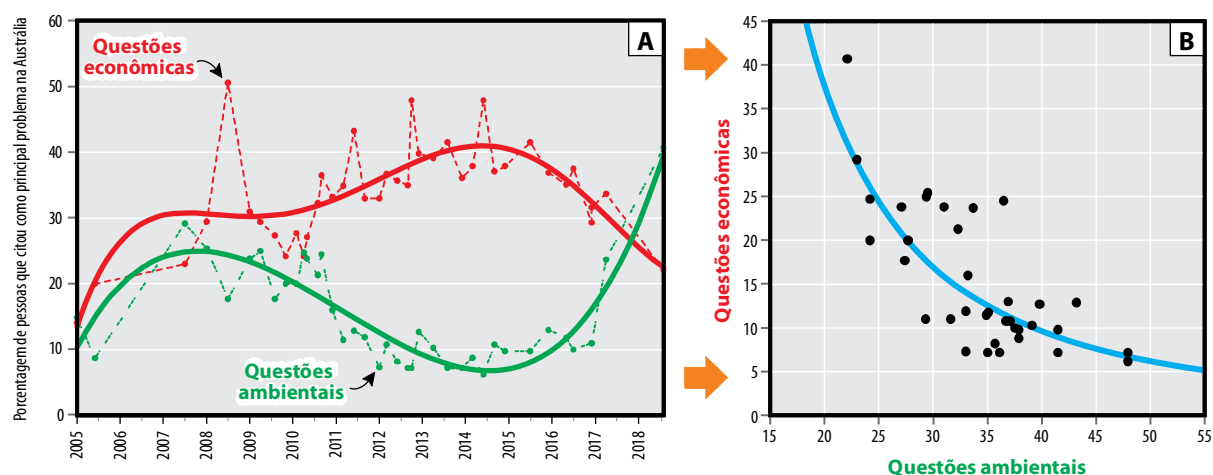
Conforme já apontado em Oliveira, Carneiro e Vecchia (2017), foi explicado que a limitada “reserva de preocupação” prevê que a preocupação com o problema das mudanças climáticas diminui quando a preocupação com outro problema se torna mais saliente. Na ocasião analisada pelos supracitados autores, as circunstâncias econômicas decorrentes da crise financeira de 2007/2008, com consequente aumento do desemprego, favoreceu e queda da evidência dada às questões climáticas.

Infelizmente, são relativamente raras séries longas, amplas e consistentes que permitem a comparação global de aspectos ambientais e econômicos. Por sorte, encontrou-se uma pesquisa de opinião nacional da Austrália (MORGAN, 2019), na qual foram levantados, no período de 2005 a 2019, e comparados [Figura 221, gráfico (A)] os dois maiores problemas que os australianos julgam enfrentar: *questões econômicas* (curva vermelha) e *questões ambientais* (curva verde). No gráfico (B) – gráfico de dispersão onde os dados do gráfico (A) foram plotados – fica explícita a seguinte relação, inversamente proporcional: quando as preocupações com as questões econômicas são altas (baixas), as preocupações com as questões ambientais são baixas (altas), fato demonstrado pela hipérbole (curva azul) do gráfico (B).

<sup>357</sup> Idem nota de rodapé anterior.

<sup>358</sup> A ideia do *estoque* (ou *reserva*) de preocupação é que as pessoas enfrentam tantos desafios em suas vidas que, na verdade, só conseguem responder a um determinado número por vez. Acontece que uma economia ruim e altos níveis de desemprego são

os tipos de coisas que ofuscam quase qualquer outra preocupação para as pessoas. Quando as pessoas têm medo de perder o trabalho, ou se preocupam em obter a próxima refeição, elas simplesmente não ficarão tão preocupadas com outras coisas, incluindo o meio ambiente.



**Figura 221** – Evolução temporal (2005-2019) das *questões econômicas* e *questões ambientais*, conforme pesquisas de opinião realizadas na Austrália. Foi perguntado aos entrevistados: “Qual você acha que é o problema mais importante que a Austrália enfrenta hoje?”. **(A)**: cada par de pontos (para uma mesma data) representa uma pesquisa ao longo do período; e o eixo vertical indica a porcentagem de pessoas que citou cada problema como o principal. **(B)**: representação do tipo dispersão, com base dos dados do gráfico (A). As curvas mais grossas indicam as linhas de tendências que foram ajustadas aos dados pontuais. Fonte: adaptado (gráfico A) e elaborado (gráfico B) a partir de Morgan (2019).

A compreensão fornecida **Figura 221** pela reforça o entendimento já antes apontado: na concorrência de problemas pela atenção pública, as questões ambientais (incluindo as questões climáticas) costumam, na percepção das pessoas, ter menor prioridade em relação às demandas mais urgentes de suas sobrevivências (economia boa, emprego garantido e renda suficiente para alimentação, moradia etc.).

Na priorização dos problemas cotidianos, a lógica é óbvia: a prevalência é ditada pelos respectivos níveis de imediatismo das necessidades de subsistência. Conforme depreendido a partir de Weber (2006), as pessoas tendem a prestar mais atenção às ameaças de curto prazo, que são “maiores” (mais urgente) do que as de longo prazo. Assim, a natureza demorada (longo prazo), abstrata (difícil de compreender) e frequentemente probabilística (incerteza) dos riscos do aquecimento global não evoca fortes reações viscerais.

O conceito de “reserva de preocupações” que os psicólogos sociais é clara: à medida que um risco percebido ganha atenção, outros riscos geralmente são eliminados da preocupação. Talvez nenhuma outra questão tenha a capacidade de inundar mais a atenção do público do que a economia e o desemprego. Os resultados aqui demonstrados sobre a relação entre riscos econômicos e ambientais são condizentes com relatos em estudos. Heidt (2018) registrou que as questões ambientais ocupam níveis inferiores de prioridade e de preocupação quando colocadas em perspectiva com questões como saúde, crises financeiras ou segurança nacional. Nisbet (2011) relatou que as altas taxas de

desemprego foram significativamente correlacionadas com declínios na preocupação pública com o meio ambiente e apoio a políticas destinadas a mitigar as mudanças climáticas. Assim, é provável que as crescentes preocupações do público com desemprego e o estado da economia contribuem para o declínio nas preocupações do público com as mudanças climáticas e outras questões. Analisando as tendências de pesquisa do *Google*, descobriu-se que, em locais com taxas de desemprego mais altas, devido a um conjunto limitado de preocupações, os indivíduos eram muito menos propensos a pesquisar informações sobre o aquecimento global. Assim, o padrão geral é claro: taxas de desemprego mais altas – pelo menos quando os níveis atingem durante crises e recessões – corroem a preocupação pública com o meio ambiente. Por outro lado, uma preocupação elevada só costuma ocorrer durante os períodos de relativo *boom* econômico (com baixos níveis de desemprego).

### I.2.3. PREOCUPAÇÃO, MEDO E ANSIEDADE

Quando parte considerável da ciência e da mídia promove um medo exagerado com efeitos ansiogênicos nas pessoas, nota-se uma postura nitidamente desonesta e reprimível, motivando uma inadiável revisão de condutas, mediante as devidas reflexões e ponderações. É uma realidade infeliz constatar que, na ampla divulgação de notícias sobre mudanças climáticas, os veículos de mídia abusam do estilo predominantemente pessimista,

assentado no sensacionalismo alarmista e catastrofista, algumas vezes até mesmo apocalíptico (“fim do mundo”), com o propósito de chocar, amedrontar e apavorar a pessoas.

Ao assumir uma postura alarmista, essa estratégia midiática tende a ser capciosa. Por um lado, conseguem eficientemente captar a atenção do público, ora mobilizando-os para mudanças e cobranças políticas que visam a adoção de soluções ao problema climático. Por outro lado, efeitos colaterais negativos também podem surgir: aumento excessivo do medo, preocupação e ansiedade nas pessoas, em níveis tais que têm chamado a atenção nos meios científicos e midiáticos, trazendo inéditas repercussões e discussões entre Médicos, Psicólogos e Cientistas Sociais.

Quando se fala de ansiedade, estamos lidando com um aspecto mental importante da vida humana. Logo, compreender os mecanismos e esquemas mentais é um passo necessário para perceber como o poder de um problema, como as mudanças climáticas, pode afligir e afetar negativamente o estado psicológico das pessoas.

Partindo de uma ideia abstrata, generalizada, podemos sugerir que o objetivo da vida humana é basicamente, a grosso modo, buscar a satisfação e bem-estar; e o segundo objetivo é fugir daquilo que impede de consegui-las. Logo, as causas de insatisfações da vida são, por silogismo, problemas que todos querem evitar. A morte é um dos grandes problemas da humanidade, já que ela parecer representar um fim da possibilidade de satisfazer nossos desejos. Apesar de sabermos que a única certeza da vida é a morte, não sabemos quando e nem como ela irá ocorrer. Nesse sentido, o uso de qualquer cenário que misture a incerteza nas escalas temporal e de eventos indesejáveis, ou seja, eventos futuros com a chance de morte, torna-se um recurso potencialmente poderoso em afetar o psiquismo humano. Por que falar disso? Existe uma profusa associação entre as mudanças climáticas a diversas tragédias, situações dramáticas e possibilidade de morte. Esses quadros pintados com cenas chocantes e horripilantes de “terrorismo climático” tem sido um fator inédito de influência negativa no grau de ansiedade das pessoas na atualidade.

### 1.2.3.1. Definições: preocupação (normal e problemática), medo e ansiedade<sup>359</sup>

A *preocupação* é uma cadeia de pensamentos e imagens, carregada de afeto negativamente e relativamente incontrolável; representa uma tentativa de se envolver na resolução de problemas mentais sobre uma questão cujo

resultado é incerto, mas contém a possibilidade de um ou mais resultados negativos; conseqüentemente, a preocupação está intimamente relacionada ao processo de medo. A preocupação também envolve apreensão sobre eventos negativos futuros.

As características distintivas entre a preocupação normal e a preocupação persistente e problemática é que a última envolve a preocupação com uma variedade mais ampla de preocupações; os episódios de preocupação ocorrem com mais frequência no tempo e duram mais; e a preocupação é experimentada como repetitiva e incontrolável. Além disso, embora a preocupação normal e adaptativa envolva atenção a uma ameaça no ambiente e forneça recursos para pensar e resolver problemas, a preocupação excessiva e mal adaptativa pode envolver dificuldades em se desligar do pensamento repetitivo, de modo que as habilidades de resolução de problemas em torno da ameaça ficam, paradoxalmente, comprometidas.

Como a *preocupação* difere do *medo*, *ansiedade* e *depressão*? O medo envolve a avaliação de algo como uma ameaça emergente imediata, juntamente com um alto grau de estimulação somática que é mobilizada a serviço de lutar contra a ameaça ou fugir dela. O medo é uma resposta emocional imediata e intensa que é adaptativa para responder a uma ameaça. A ansiedade engloba preocupação e excitação somática e autônoma. Assim, a ansiedade como uma emoção básica envolve pensamentos verbais-linguísticos repetitivos de eventos apreensivos e os sintomas corporais de aumento da frequência cardíaca, respiração, suor e assim por diante. Ao contrário do medo, a ansiedade é uma resposta a cenários que representam ameaças mais difusas no futuro. A ansiedade sobre ameaças percebidas pode generalizar-se em situações, ambientes e pessoas de tal forma que uma pessoa sofre de Transtorno de Ansiedade Geral. A depressão também envolve preocupação, mas inclui características adicionais de tristeza, desânimo, uma visão negativa de si mesmo e uma sensação de desesperança para o futuro. A preocupação e o pensamento negativo e incontrolável podem ser processos centrais constituintes da ansiedade e da depressão.

### 1.2.3.2. Raízes psicológicas da ansiedade: medo do desconhecido e a incerteza sobre o futuro

Segundo Carleton (2016a) “a emoção mais antiga e forte da humanidade é o medo, e o tipo de medo mais antigo e forte é o medo do desconhecido”. O desconhecido é sempre considerado potencialmente

<sup>359</sup> Baseado em Stewart (2021).

ameaçador. O desconhecido exacerba o medo e, conforme aumenta-se o medo pelo desconhecido, as pessoas se tornam mais propensas a aceitar consequências negativas do que tolerar a incerteza.

O *medo do desconhecido* é definido por Gu et al. (2020) como “a propensão de um indivíduo a sentir medo causado pela percepção da ausência de informação em qualquer nível de consciência ou ponto de processamento”. Esse medo fundamental é o processo cognitivo básico subjacente a todos os transtornos de ansiedade, mas diferente da experiência emocional causada pela ansiedade. O medo é orientado para o presente relativamente certo, enquanto a ansiedade é orientada para um futuro relativamente incerto. A incerteza é uma característica central do modelo conceitual de medo, o que leva à ansiedade e à preocupação.

Gu et al. (2020) aprofunda o tema no contexto da *intolerância à incerteza*, definida como reações cognitivas, emocionais e comportamentais à incerteza nas situações da vida cotidiana que envolvem circunstâncias de imprevisibilidade, complexidade e insolubilidade. A intolerância à incerteza descreve a incapacidade de um indivíduo de suportar a resposta aversiva (situações ou fatos amedrontadores), desencadeada pela percepção de uma ou mais incógnitas salientes, e sustentada pela percepção associada de incerteza. A intolerância à incerteza pode explicar porque algumas pessoas podem resistir, responder ativamente e se adaptar a situações incertas, enquanto outras mostram preocupação excessiva, ansiedade, depressão e até mesmo dificuldade para processar informações normalmente em circunstâncias sociais. Segundo os citados autores, as pessoas geralmente apresentam expectativas tendenciosas de aversão após palpites incertos, ou seja, elas tendem a esperar eventos negativos. Esse viés de expectativa induzida pela incerteza é mais observado em cenários relacionadas à ameaça e seus resultados aversivos. A antecipação ou expectativa de eventos futuros é uma noção muito importante no domínio do desenvolvimento e sustentação da ansiedade. De uma perspectiva evolutiva e adaptativa, é benéfico para os indivíduos mostrarem hipervigilância à incerteza e sempre se prepararem para o resultado negativo.

Assim, o medo está enraizado no processo evolutivo do ser humano: por meio do medo aborda-se algo desconhecido com cautela, pois aquilo que não conhecemos representa uma ameaça em potencial. Dada a vantagem evolutiva associada à suposição de ameaça, a resposta “padrão” à incerteza, à novidade ou à ameaça é a preparação simpático-excitatória para a ação comumente conhecida como a *resposta de luta* ou *resposta de fuga*. Esta resposta de ameaça padrão pode estar relacionada ao

conhecido *viés de negatividade*, um fenômeno que descreve a tendência de priorizar informações negativas em vez de positivas. De uma perspectiva evolutiva, isso representa um sistema que erra pelo lado da cautela – “na dúvida, prepare-se para o pior” – maximizando, assim, a sobrevivência e as respostas adaptativas.

A *ansiedade* tem sua conceituação iniciada com a ideia de “mudanças antecipatórias afetivas, cognitivas e comportamentais em resposta à incerteza sobre uma potencial ameaça futura” (CARLETON, 2016b). No âmbito de um Modelo de Incerteza e Antecipação de Ansiedade, o citado autor descreve que interações consequentemente negativas com a incerteza facilitam respostas mal-adaptativas, incluindo estimativas aumentadas de ameaça, hipervigilância e evasão. Além disso, as evidências disponíveis sugerem que o desconhecido aumenta as respostas fisiológicas à ameaça e produzem aumentos sustentados na amígdala e no hipocampo dos humanos.

Atualmente, existem dois modelos prevalentes para descrever a psicopatologia relacionada ao medo e à ansiedade: o *Modelo Cognitivo de Ansiedade* e o *Modelo de Vulnerabilidade Tripla de Ansiedade*. O primeiro modelo descreve o medo como uma avaliação automática de estímulos como iminentemente ameaçadores ou perigosos; em contraste, a ansiedade é descrita como a resposta subjetiva duradoura ao sentir medo. Em relação ao medo, a ansiedade é considerada uma resposta mais complexa a situações aversivas conhecidas ou desconhecidas. Como tal, o medo é considerado o processo básico que subjaz à ansiedade e, portanto, a todos os transtornos de ansiedade. O segundo modelo descreve três vulnerabilidades de interação que são ativadas por encontros com desconhecidos: (1) uma vulnerabilidade biológica geral (hereditária); (2) uma vulnerabilidade psicológica geral, que consiste em uma sensação intensificada de imprevisibilidade, incontabilidade e alterações associadas na função cerebral resultantes de experiências adversas precoces; e (3) uma vulnerabilidade psicológica mais específica, explicando por que um distúrbio emocional específico (por exemplo, transtorno do pânico) pode surgir em vez de outro (por exemplo, transtorno obsessivo-compulsivo).

Grandes problemas instigam os pavores da humanidade. Os “problemas planetários” relacionados às “mudanças climáticas”, o “aquecimento global” e o “caos ambiental” sustentam toda uma trama cujos alicerces evocam os três grandes medos da humanidade: a

morte<sup>360</sup>, o futuro e a mudança, conforme apresentado pela “Teoria da Tríade” (FELÍCIO; ONÇA, 2010), comentada e contextualizada por Felício (2014). Nota-se que esses três tipos de medo possuem em comum o medo do desconhecido e a incerteza associada. As mudanças climáticas podem ser vistas como uma questão existencial intimamente ligada à incerteza sobre a sobrevivência futura de nosso planeta e, portanto, evocando sentimentos de ansiedade existencial e desesperança.

O medo é uma resposta vital para perigos físicos e emocionais. Se não sentíssemos medo, nós não seríamos capazes de nos proteger de ameaças legítimas, reais. No entanto, com o crescente medo exacerbado pelo alarmismo generalizado, que muitas vezes induz as pessoas a confundir fatos e ficção, medos bestialógicos estão cada vez mais se tornando uma infeliz realidade. Mesmo o medo de alguma ameaça ilusória, uma realidade distorcida, é sentido de verdade, implicando em sentimentos momentâneos de angústia, sofrimento, além de possíveis repercussões psicológicas duradouras, como depressão e ansiedade.

A incerteza como uma característica comum no contexto de ameaça pode provocar medo e ansiedade. Sobre os eventos futuros, a incerteza pode levar à preocupação, ansiedade e até à incapacidade de funcionar. Pesquisadores observaram que diferentes respostas emocionais são afetadas pelo grau de incerteza percebida: o medo está associado a ameaças futuras menos incertas, enquanto a ansiedade está relacionada a ameaças futuras mais incertas. Gu et al. (2020). O sentimento de incerteza e falta de compreensão é sem dúvida um dos aspectos centrais da mudança climática, uma vez que ninguém pode prever os impactos exatos em um determinado lugar e tempo. Além disso, os cientistas que modelam possíveis futuros sempre enfatizam a possibilidade de fatores e impactos desconhecidos, como ciclos de *feedback* ou pontos de inflexão (CLAYTON, 2020).

Se o medo do desconhecido é o elemento impulsionador da intolerância à incerteza e, portanto, da ansiedade, compreender e influenciar esse medo pode ter a utilidade teórica e prática de amplo alcance para prever e modificar diferenças individuais, comportamentos e sintomas psicológicos adversos.

### 1.2.3.3. Fisiologia e neurologia do medo<sup>361</sup>

Em uma área primitiva do cérebro conhecida como *sistema límbico*, localizada logo acima do céu da boca, uma

pequena bolha de tecido cerebral chamada *hipocampo* desempenha um papel fundamental na transferência de memórias de curto prazo para o armazenamento de longo prazo. O hipocampo parece atuar como um agente – possivelmente um entre vários – que grava aquelas memórias que considera dignas de serem mantidas. Aparentemente, ele lê o nível geral de excitação conectado a vários pensamentos à medida que eles fluem, e identifica aqueles que têm implicações de alta sobrevivência ou grande importância emocional para o dono do cérebro.

A influência do hipocampo e das estruturas neurológicas relacionadas ajuda a explicar por que podemos imprimir rapidamente uma experiência chocante ou alegre em nossas memórias de longo prazo, sem nem mesmo tentar – enquanto lutamos, fortemente, para lembrar as equações matemáticas que precisamos saber para a prova. O choque, o medo e a alegria possuem um elevado valor de excitação. Em termos simples: nos lembramos melhor das coisas que mais nos despertam emoções marcantes. Esta é uma verdade simples e familiar, que a maioria de nós falha totalmente em capitalizar na maioria das vezes. Experiências empolgantes, notícias emocionantes, ideias impressionantes tendem a marcar mais porque o hipocampo – o botão “salvar” do nosso cérebro – detecta o limiar da excitação e copia a mensagem para um armazenamento de longo prazo.

Nesse sentido, a maior parte de nossa memória é acidental e involuntária. Quando temos a forte intenção de nos lembrar de algo, podemos ou não criar um estado de excitação suficiente para acionar a função “salvar” do hipocampo. Ao recitar informações repetidamente, dizendo a nós mesmos que é importante e querendo nos lembrar disso, muitas vezes conseguimos “salvar” tais informações.

Os seres humanos são notoriamente incompetentes para estimar o risco em situações em que o risco é emocionalmente carregado – o resultado tem uma forte interpretação emocional ligada a ele. Fisiologicamente, o medo pode ser interpretado como uma informação: é um sinal ou um conjunto de sinais que nos ajudam a saber o que está acontecendo abaixo do nível da consciência. O mecanismo de resposta do sinal pode ser, ao mesmo tempo, um recurso valioso ou autodestrutivo do *software* do “biocomputador” (cérebro). O mesmo mecanismo que garante nossa sobrevivência como criaturas também pode atrapalhar nossos processos de pensamento racional.

<sup>360</sup> A *ansiedade da morte*, decorrente do *medo da morrer*, também é conhecida como *tanatofobia*.

<sup>361</sup> Baseado em Albrecht (2007).

É assim que funciona: o cérebro tem um sensor de alerta precoce, chamado *amígdala*<sup>362</sup>, que alerta todo o seu corpo sobre qualquer coisa que sentir que possa representar uma ameaça ao seu bem-estar físico. Uma de suas funções é acessar o fluxo de entrada de sinais sensoriais que se reúnem em uma estrutura de portal próxima conhecida como *tálamo*. Todos os sinais que chegam ao cérebro – através da medula espinhal – passam pelo tálamo para uma rápida revisão antes de se espalharem para as muitas regiões especializadas, como visão, processamento de áudio, sensações corporais e reconhecimento linguístico.

A amígdala parece explorar esse fluxo de dados sensoriais, monitorando-o em busca de padrões que possam implicar em uma ameaça à nossa sobrevivência. Quando detecta algo para se alarmar, ele dispara uma mensagem para o *hipotálamo* (a unidade que está “abaixo” do tálamo) e diz a ele para preparar o corpo para uma emergência. O hipotálamo e seus parceiros no sistema límbico lançam um cascata inteira de sinais de excitação coordenados que dão início à conhecida *reação de luta ou fuga*.

Esse sensor de alerta precoce fornecido pela amígdala salva a nossa vida muitas vezes. A má notícia é que coisas erradas podem dispará-lo. Assim como um alarme de roubo doméstico pode disparar como resultado de uma série de influências estranhas que nada têm a ver com um roubo, sua amígdala pode disparar de forma inadequada. Quando isso acontece, é como se o tálamo, o portal de informações para o seu córtex, fosse sequestrado pela amígdala *superreativa*.

Os seres humanos modernos tem treinado suas amígdalas para reagir a várias experiências e provocações que não são fatais. Esses gatilhos emocionais podem ser denominados de “sequestradores” – eles sequestram a amígdala e disparam seus alarmes. Um gatilho sequestrador é um sinal específico de algum tipo, contra o qual o corpo reage com fortes sentimentos negativos, como raiva, culpa, vergonha, medo ou sentimentos de inadequação, por exemplo. O sinal real pode ser uma palavra, uma declaração ou pergunta, uma frase, o tom de voz que alguém usa, uma expressão facial ou outro gesto corporal (não verbal) – qualquer coisa com a qual se desenvolve uma associação negativa.

A principal característica da reação de uma amígdala sequestrada e superreativa é uma perda de pensamento racional e coerente. Normalmente é uma resposta de raiva, possivelmente atingindo o nível de raiva cega, embora

também possa envolver outras emoções, como medo irracional, culpa, vergonha autopunitiva ou constrangimento.

Pelo exposto, pode-se inferir que repetitivas mensagens alarmantes<sup>363</sup> sobre as mudanças climáticas afetam diretamente o funcionamento cerebral, especificamente a amígdala, sensor de alerta. O contínuo bombardeamento de informações negativas sobre o clima assumem o papel de sequestrador da amígdala. Uma vez superreativa, a amígdala dispara um alarme que pode culminar no medo irracional, sobre uma ameaça descabida. Por fim, os efeitos duradouros de uma amígdala em alerta máximo pode imprimir experiências chocantes, que são salvas, pelo hipocampo, nas memórias de longo prazo. Assim, o medo exagerado sobre as mudanças climáticas pode implicar sintomas de eco-ansiedade, além de outras repercussões mais sérias de saúde mental e emocional.

Os neurocientistas hoje sabem quais mecanismos no biocomputador realmente transformam os pensamentos em consequências fisiológicas – bem-estar ou doença. A ciência alcançou o conhecimento comum: as ideias podem deixar as pessoas doentes ou curadas; eles podem matar ou curar. Cada pensamento que temos possui consequências químicas e fisiológicas.

#### I.2.3.4. Evolução temporal do medo

Como a sensação de medo variou desde o início do século passado? A resposta a essa pergunta pode parecer impossível de ser obtida com algum grau de precisão satisfatório. Mas, hoje em dia, tal resposta não é impossível. Uma forma de estimar indiretamente a evolução do medo é tentar descobrir como essa palavra foi utilizada em fontes jornalísticas/científicas com informações passíveis de serem resgatadas e estatisticamente analisadas.

Se um tema possui bastante evidência em determinada mídia/publicação, então a sociedade está atribuindo algum tipo de valor a ele. Logo, uma alta frequência de publicação/citação significa que o tema/palavra é importante no respectivo contexto histórico. Atualmente, existem duas ferramentas rápidas que permitem resgatar o nível relativo de importância de determinado assunto, palavra ou termos (conjunto de palavras). O primeiro deles é utilizar a ferramenta de *Google Trends* (“*Tendências do Google*”)<sup>364</sup>, site que analisa a popularidade das principais consultas de pesquisa que

<sup>362</sup> A amígdala é uma pequena bolha de tecido cerebral localizada na região límbica, que é uma coleção de estruturas para fins especiais localizadas sob o córtex cerebral, logo acima do céu da boca.

<sup>363</sup> Como será visto adiante, diversos atores (ciência, mídia, autoridades e celebridades) são hoje responsáveis por produzir conteúdo “tóxico” à mente humana, emitindo e divulgando notícias “poluentes” e mentalmente inebriantes.

<sup>364</sup> <https://trends.google.com/>

tem sido realizadas na “Pesquisa do Google” em várias regiões e idiomas. O *site* usa gráficos para comparar o volume de pesquisa de diferentes consultas ao longo do tempo<sup>365</sup>, tendo o ano de 2004 como o início da série.

Para estudar para além do período pré-*Internet* (antes de 1990), então é possível recorrer a diferentes tipos de publicações (artigos, jornais, livros etc.). Para consultas sobre termos e assuntos que foram registrados em livros, atualmente existe o visualizador de *Ngram do Google Livros* (doravante “*Google Ngram*”)<sup>366</sup>. Tal mecanismo de pesquisa *online* mapeia as frequências de qualquer palavra ou conjunto de palavras de pesquisa usando uma contagem anual de *n-gramas*<sup>367</sup> encontrados em fontes impressas entre o período de 1500 e 2019. Ao realizar a busca por uma determinada palavra ou termos, o *Google Ngram* exibe um gráfico que mostra como os percentuais de frequências desses textos/palavras/frases variavam ao longo do tempo, conforme as ocorrências encontradas em *corpus*<sup>368</sup> de livros em diferentes línguas.

Um recurso interessante do *Google Trends* e do *Google Ngram* é que eles também permitem comparar os volumes relativos (de pesquisa ou ocorrências em livros) entre dois ou mais termos e, assim, é possível determinar qual o tema é “mais importante” (o mais procurado no Google, ou o mais publicado em livros).

Retomando à pergunta inicial, agora é possível utilizar as ferramentas brevemente descritas. Considerando o período longo, até 1900, então utilizou-se o *Google Ngram* para elaborar os gráficos da **Figura 222**. No gráfico **(A)** da referida figura, nota-se que a palavra “medo” apresentou leve redução entre 1900 a 1920, e permaneceu relativamente constante até 1990, a partir de quando então passou a aumentar consideravelmente. Junto à curva da palavra “medo” também segue a curva da palavra “medo de morrer”, demonstrando a alta correlação entre as duas palavras<sup>369</sup>. É curioso e intrigante notar que, apesar da ocorrência da *Primeira Guerra Mundial* (1914-1918) e da *Segunda Guerra Mundial* (1929-1945) – nas

quais morreram, respectivamente, mais de 20 milhões e 60 milhões de pessoas – as palavras “medo” e “medo de morrer” não apresentaram qualquer variação expressiva nesses períodos. A mesma ausência de reação do medo ocorre diante da ameaça de “guerra nuclear” mundial [gráfico **(B)** da **Figura 222**], mesmo com a existência de dois episódios/períodos marcantes: a *Crise dos Mísseis*<sup>370</sup> (1962) e a *Guerra Fria*<sup>371</sup> (1979–1985).

A partir de 1990, uma “pandemia do medo” parece se instaurar diante de alguns outros fatores: “desastres ambientais” [gráfico **(C)** da **Figura 222**], com o ápice ocorrendo próximo à Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (Eco-92); “terrorismo” [gráfico **(D)** da **Figura 222**], que atingiu um patamar considerável após o Ataque de 11 de setembro de 2001; e a proximidade com “eventos apocalípticos”, tanto na virada do milênio em 2000, com o “*Bug do milênio*”<sup>372</sup> [gráfico **(G)** da **Figura 222**] e o “Fenômeno de 2012”<sup>373</sup> (ou “Apocalipse Maia”).

Diante de tantas ameaças, na **Figura 222** também são apresentados dois tipos de efeitos colaterais do medo: a “eco-ansiedade” [gráfico **(E)**], cujo comportamento abordaremos com mais detalhes adiante; e o “sobrevivencialismo” (cujo termo tem apresentado correspondente aumento significativo desde a década de 1970), um movimento social de indivíduos ou grupos que se preparam ativamente para emergências, incluindo possíveis rupturas na ordem social, política econômica e/ou ambiental, em escalas de locais a internacionais. Considera-se aqui esse tipo de movimento pois ele representa uma reação concreta a uma ameaças potenciais. Com medo de diferentes tipos de colapsos, esses praticantes extremamente preocupados (muitas vezes paranoicos) com algum tipo de catástrofe apocalíptica ou colapsante, assumem uma postura de isolamento e sobrevivência, mediante mudanças

<sup>365</sup> Com o crescimento contínuo do uso da Internet, o *Google Trends* surgiu como uma fonte de informações para investigar como as tendências sociais evoluem ao longo do tempo. Usando o volume de pesquisa do *Google* permite saber como o nível aproximado de interesse em tópicos relevantes. A variação das buscas/interesse ao longo do tempo pode ajudar a apoiar a comunicação direcionada da Ciência em suas diferentes frentes. O trabalho de Nghiem et al. (2016), por exemplo, utilizou o *Google Trends* para medir o interesse em tópicos de conservação da natureza e o papel das notícias *online*.

<sup>366</sup> <https://books.google.com/ngrams>

<sup>367</sup> Nos campos da linguística computacional e probabilidade, um *n-grama* é uma sequência contígua de *n* itens de uma determinada amostra de texto ou fala. Os itens podem ser fonemas, sílabas, letras, palavras ou pares de bases de acordo com a aplicação. Os *n-gramas* normalmente são coletados de um *corpus* de texto ou fala.

<sup>368</sup> Em linguística, um *corpus* é um recurso linguístico que consiste em um grande e estruturado conjunto de textos. Na linguística de corpus, eles são usados para fazer diversas análises estatísticas, entre elas, as listas de palavras por frequência, onde as

palavras de um idioma são agrupadas por frequência de ocorrência em um determinado corpus de texto. O *Google Ngram* mostra as mudanças na frequência relativa de palavras/frases ao longo do tempo.

<sup>369</sup> A palavra “medo” aparece cerca de 120 vezes mais que a palavra “medo de morrer”. Por conta disso, o valor indicado na figura representa um fator de ajuste (multiplicando por 120, nesse caso) aplicado à segunda curva para permitir a exibição das duas curvas na mesma escala.

<sup>370</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Cuban\\_Missile\\_Crisis](https://en.wikipedia.org/wiki/Cuban_Missile_Crisis)

<sup>371</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Cold\\_War](https://en.wikipedia.org/wiki/Cold_War)

<sup>372</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Year\\_2000\\_problem](https://en.wikipedia.org/wiki/Year_2000_problem)

<sup>373</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/2012\\_phenomenon](https://en.wikipedia.org/wiki/2012_phenomenon)



comportamentais drásticas no estilo de vida e uso de técnicas específicas<sup>374</sup>.

Monitorar a evolução desse tipo de movimento do sobrevivencialismo é interessante, pois o aumento do interesse e efetiva agregação de praticantes é um ótimo indicador do medo das pessoas perante desastres, catástrofes e colapsos. As origens do movimento de sobrevivência remetem ao período da *Primeira Guerra Mundial* (1914-1918). No entanto, o crescimento moderno passou a ter maior evidência no Reino Unido e nos Estados Unidos a partir de 1960, com aumento da taxa de inflação e a desvalorização monetária dos EUA, a preocupação contínua com uma possível confronto nuclear entre os EUA e a União Soviética e a vulnerabilidade crescente percebida dos centros urbanos à escassez de abastecimento (água e alimentos) e outras falhas de sistemas (elétrico, segurança etc.). Na década de 1970, o movimento ganhou um pouco de força com o colapso socioeconômico associado à *Crise do Petróleo de 1973*<sup>375</sup>, período de inflação galopante.

A partir de 1980, houve mudança na ênfase nos preparativos feitos por sobreviventes quanto ao colapso econômico, fome e escassez de energia para a guerra nuclear associada à *corrida armamentista nuclear*<sup>376</sup> da *Guerra Fria* (1979–1985). Durante a década de 1990, o interesse atingiu o pico novamente em 1999, desencadeado por temores do “Bug do milênio” e possíveis consequências de falta de energia generalizada, falta de alimentos e gasolina, entre outras emergências.

Na década de 2000, uma nova onda de sobrevivencialismo começou após os ataques de 11 de setembro de 2001 e subsequentes bombardeios em Bali<sup>377</sup> (2002), Madrid<sup>378</sup> (2004) e Londres<sup>379</sup> (2005), seguindo as preocupações quando ao terrorismo nuclear ou biológico. Esse ressurgimento do interesse pelo movimento parece ser tão forte quanto o foco da era de 1970 no tópico. O medo da guerra, gripe aviária, escassez de energia, desastres ambientais e mudança climática global, juntamente com a incerteza econômica e a aparente vulnerabilidade da humanidade aumentaram o

interesse nos tópicos de sobrevivência. Grandes tragédias que marcaram a década de 2000 incluem: o *Terremoto e Tsunami no Oceano Índico*<sup>380</sup> em 2004, com 240 mil mortos; o *Furacão Katrina*<sup>381</sup> em 2005, com quase 2 mil mortos; o *Terremoto de Caxemira*<sup>382</sup>, em 2005, com 87 mil óbitos. Muitos livros foram publicados na esteira da *Grande Recessão de 2008* e, posteriormente, oferecendo conselhos de sobrevivência para vários desastres em potencial. Além das catástrofes ambientais e econômicas, ameaças biológicas/epidemiológicas também entraram em cena na primeira década do séc. 21: entre 2000 e 2003, houve um surto de casos da *Doença de Creutzfeldt-Jakob*<sup>383</sup> em humanos, variante da “doença da vaca louca” (cujo grande surto ocorreu em bovinos em 1992, na Inglaterra); entre 2002 e 2004, ocorreu a epidemia da *Síndrome respiratória aguda grave* (conhecida pela sigla SARS<sup>384</sup>, do Inglês), com cerca de 800 mortes; em seguida, a *gripe aviária (H5N1)*<sup>385</sup> se espalhou entre 2004 e 2009; e, por fim, 2009 foi a vez do surgimento da *gripe suína (H1N1)*<sup>386</sup>, com quase 20 mil óbitos no mundo,

Na recém década passada (2010-2020), diversos outros eventos chocantes deixaram marcas na preocupação das pessoas: o *Desastre Nuclear de Fukushima*<sup>387</sup> (2011); a *Síndrome respiratória do Médio Oriente (MERS)*, sigla do Inglês<sup>388</sup>, ou “gripe do camelo”, que teve um surto em 2014; entre 2013 e 2016, houve um *surto de Ebola na África Ocidental*<sup>389</sup>, que provocou a morte de 11 mil pessoas; e, em 2012 surgiu a *epidemia do vírus Zika*<sup>390</sup> no Brasil, que se espalhou por toda América entre 2015-2016. Além dos diversos eventos epidemiológicos adversos, a humanidade também presenciou o cruel evento envolvendo *Refugiados da Guerra Civil Síria*<sup>391</sup>, tendo o lamentável e inesquecível falecimento da criança de 3 anos, *Alan Kurdi*<sup>392</sup>, cuja foto circulou e chocou todo mundo e levantou diversas discussões acerca da grande crise humanitária síria.

Durante a pandemia da COVID-19 ainda em curso (permanece ativa até mar/2021, data de confecção deste texto –, o sobrevivencialismo recebeu interesse renovado, mesmo por aqueles que não são tradicionalmente considerados adeptos dessa cultura.

<sup>374</sup> Estratégias dessas pessoas envolvem, por exemplo, planos de “fuja das cidades”, com *kits* preparativos para deixar centros urbanos nos casos de eventos caóticos, escapando para longe de pessoas em “paraísos remotos” (refúgios, abrigos), nos quais estão estocados suprimentos básicos para sobrevivência em um determinado período de crise.

<sup>375</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/1973\\_oil\\_crisis](https://en.wikipedia.org/wiki/1973_oil_crisis)

<sup>376</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Nuclear\\_arms\\_race](https://en.wikipedia.org/wiki/Nuclear_arms_race)

<sup>377</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/2002\\_Bali\\_bombings](https://en.wikipedia.org/wiki/2002_Bali_bombings)

<sup>378</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/2004\\_Madrid\\_train\\_bombings](https://en.wikipedia.org/wiki/2004_Madrid_train_bombings)

<sup>379</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/7\\_July\\_2005\\_London\\_bombings](https://en.wikipedia.org/wiki/7_July_2005_London_bombings)

<sup>380</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/2004\\_Indian\\_Ocean\\_earthquake\\_and\\_tsunami](https://en.wikipedia.org/wiki/2004_Indian_Ocean_earthquake_and_tsunami)

<sup>381</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Hurricane\\_Katrina](https://en.wikipedia.org/wiki/Hurricane_Katrina)

<sup>382</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/2005\\_Kashmir\\_earthquake](https://en.wikipedia.org/wiki/2005_Kashmir_earthquake)

<sup>383</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Variant\\_Creutzfeldt%E2%80%9393Jakob\\_disease](https://en.wikipedia.org/wiki/Variant_Creutzfeldt%E2%80%9393Jakob_disease)

<sup>384</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Severe\\_acute\\_respiratory\\_syndrome](https://en.wikipedia.org/wiki/Severe_acute_respiratory_syndrome)

<sup>385</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Global\\_spread\\_of\\_H5N1](https://en.wikipedia.org/wiki/Global_spread_of_H5N1)

<sup>386</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/2009\\_swine\\_flu\\_pandemic](https://en.wikipedia.org/wiki/2009_swine_flu_pandemic)

<sup>387</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Fukushima\\_Daiichi\\_nuclear\\_disaster](https://en.wikipedia.org/wiki/Fukushima_Daiichi_nuclear_disaster)

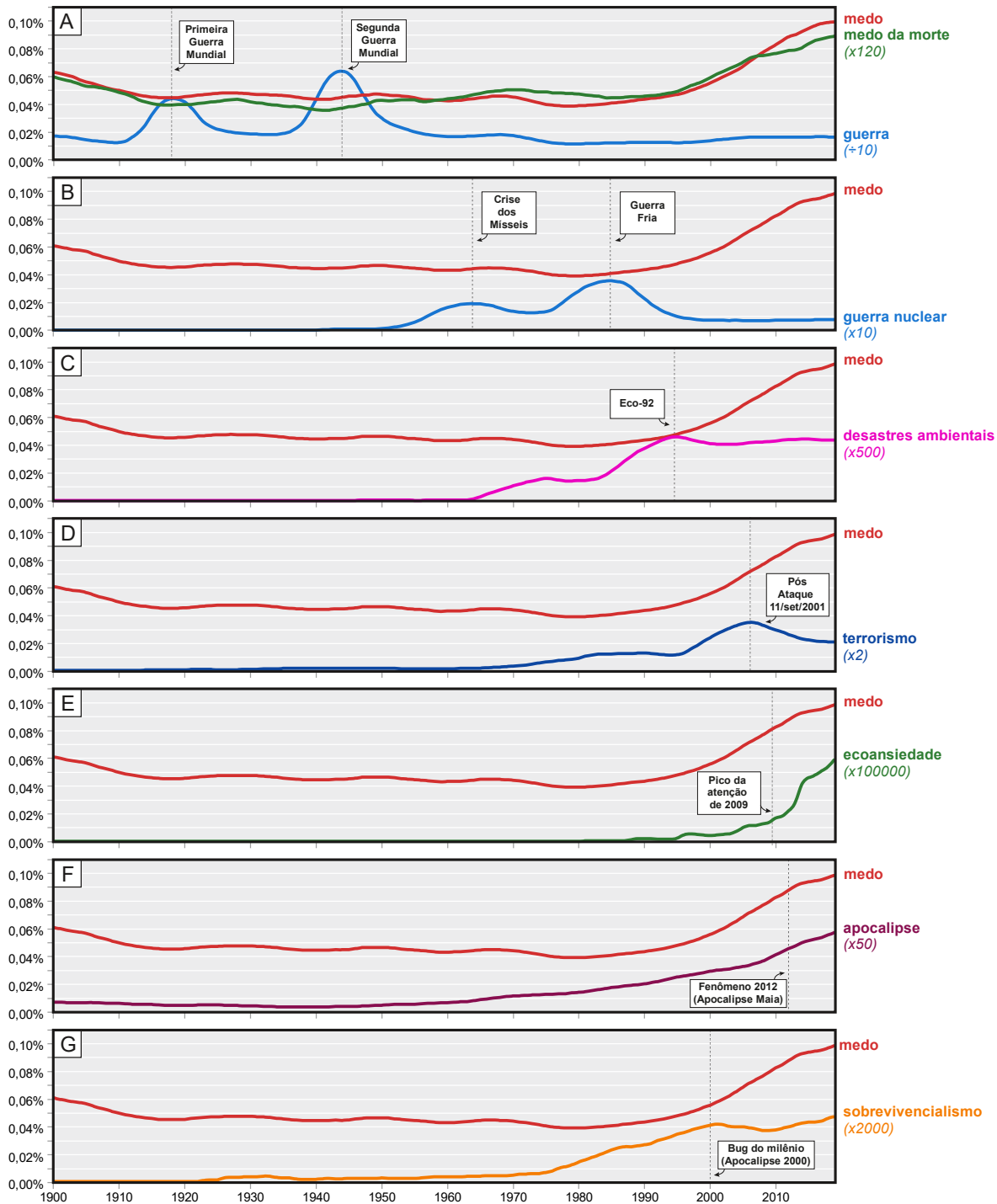
<sup>388</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Middle\\_East\\_respiratory\\_syndrome](https://en.wikipedia.org/wiki/Middle_East_respiratory_syndrome)

<sup>389</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Western\\_African\\_Ebola\\_virus\\_epidemic](https://en.wikipedia.org/wiki/Western_African_Ebola_virus_epidemic)

<sup>390</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/2015%E2%80%932016\\_Zika\\_virus\\_epidemic](https://en.wikipedia.org/wiki/2015%E2%80%932016_Zika_virus_epidemic)

<sup>391</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Refugees\\_of\\_the\\_Syrian\\_civil\\_war](https://en.wikipedia.org/wiki/Refugees_of_the_Syrian_civil_war)

<sup>392</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Death\\_of\\_Alan\\_Kurdi](https://en.wikipedia.org/wiki/Death_of_Alan_Kurdi)



**Figura 222** – Evolução (1900-2019) da importância relativa de diferentes termos (conforme publicação de livros no *Google Ngram*), em comparação com o termo “medo”: (A) “medo da morte” e “guerra”; (B) “guerra nuclear”; (C) “desastres ambientais”; (D) “terrorismo”; (E) “eco-ansiedade”; (F) “apocalipse”; e (G) “sobrevivencialismo”. No eixo vertical, encontra-se a porcentagem de ocorrências (frequência) dos termos em relação ao corpus total. Fonte: elaboração própria, com base em consultas realizadas no *Google Ngram*<sup>393</sup>.

<sup>393</sup> Parâmetros da pesquisa: termos pesquisados = *fear*, (*fear of death*\*120), (*war*\*10), (*nuclear war*\*10), (*environmental disaster*\*500), (*terrorism*\*2), (*ecoanxiety*\*100000), (*apocalypse*\*50), (*survivalism*\*2000); Período = 1900-2019; Corpus = *English*(2019); Suavização (*smoothing*) = 3.

### **I.2.3.5. Sobrevivencialismo: preparados e protegidos, ou paranoicos para um eventual colapso?**

Com o advento de tantas eventos trágicos reais nos últimos 20 anos<sup>394</sup>, despertou-se o interesse público pelo sobrevivencialismo, aumentando significativamente as vendas de livros de preparação e tornando mais popular tal prática e estilo de vida. Em uma época de cobertura bombástica da mídia e notificações instantâneas que induzem ao pânico, alertando sobre ondas de tsunami iminentes ou mísseis balísticos, não é irracional sentir que o fim está mais próximo do que jamais se sentiu antes. Uma pesquisa (MILLS, 2019) afirma que o sobrevivencialismo é um movimento cultural específico de personificação literal da ansiedade do “fim dos tempos”, da sobrevivência ou dos “preparadores”<sup>395</sup> para o fim do mundo.

Segundo a retrocitada referência, os preparadores, que costumam ser consumidores ávidos de notícias da mídia de massa, são levados a se preparar por uma certeza peculiar e delirante de que o colapso apocalíptico ocorrerá em um futuro próximo. Mesmo uma parte deles que não acredita que um evento “apocalíptico” seja iminente, esses não descartam a probabilidade de ocorrência de algum tipo de desastre pontual e menos duradouro. Demonstrando que as atividades dos preparadores são sustentadas por projeções preventivas em torno de inúmeras “ameaças” não-apocalípticas, o artigo argumenta que o sobrevivencialismo responde principalmente às ansiedades incertas em torno dos riscos de desastres. Além disso, o artigo estabelece que essas ansiedades imprecisas são regularmente influenciadas pelo consumo de especulação baseada em desastres transmitidos pela mídia e noticiários convencionais – mostrando que suas preocupações não são fundamentadas em desinformação, mas tendem a emergir em resposta a inúmeros riscos de desastres que são amplamente relatados e reconhecidos por toda sociedade.

Pelo exposto, o sobrevivencialismo pode ser assumido como uma atitude ativa de pessoas que reagiram em resposta ao constante alarmismo midiático, onde o fato, a ficção e o medo ficam na linha tênue entre a preparação/proteção e a paranoia diante de potenciais eventos trágicos.

## **I.2.4. O PROBLEMA DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS**

### **I.2.4.1. A origem do problema climático no meio científico**

Desde quando mudanças climáticas e o aquecimento global se tornaram um grande problema mundial? E como foi que isso tomou a atual notoriedade? Bom, a história da Ciência das Mudanças Climáticas remonta a mais de dois séculos atrás: tudo começou em 1824, com a descoberta do “efeito estufa” pelo matemático Joseph Fourier [1768–1830]; em 1861, o físico John Tyndall [1820–1893] comprovou que gases como metano (CH<sub>4</sub>) e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) absorviam radiação infravermelha; em 1896, o químico Svante Arrhenius [1859–1927] indicou de que o aumento de CO<sub>2</sub> poderia aumentar a temperatura da Terra; em 1938, o engenheiro Guy Stewart Callendar [1898–1964] revelou evidências de um aumento de 0,3 °C nas temperaturas globais nos 50 anos anteriores, sugerindo que isso se devia em grande parte ao aumento do CO<sub>2</sub> atmosférico oriundo da queima de combustível fóssil. As descobertas de Callendar foram consideradas interessantes, mas não foram consideradas conclusivas pelos cientistas da época; nas décadas de 1960 a 1980, os primeiros modelos científicos sobre o clima global foram sendo aprimorados, aumentando a crença da relação entre o aumento das emissões de CO<sub>2</sub> e o incremento da temperatura terrestre; em 1988 foi criado o *Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas* (IPCC, sigla do inglês), que publicou o seu primeiro relatório em 1990. O segundo relatório do IPCC, publicado em 1995, sugeria uma influência humana perceptível no clima global.

### **I.2.4.2. A origem do problema climático no meio político**

Não faz muito tempo que a história do clima começou como um “tema quente” política e popularmente. Ultrapassando as fronteiras da restrita esfera científica, o aquecimento global começou a se popularizar há menos de meio século atrás, em 1979, quando a Organização Meteorológica Mundial (OMM), o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), a Fundação Nacional de Ciências (NFS, sigla do inglês) dos EUA, a Fundação Ford (EUA) e a Fundação Rockefeller (EUA) pagaram 250 historiadores, geógrafos, arqueólogos e

<sup>394</sup> <https://www.visualcapitalist.com/timeline-media-inflamed-fears-2000-2017/> apresenta um infográfico interessante, baseado em dados obtidos no *Google Trends*, mostrando alguns dos principais eventos trágicos ocorridos entre 2000 e 2017.

<sup>395</sup> Tradução para o termo *preppers*, amplamente difundido no Inglês.

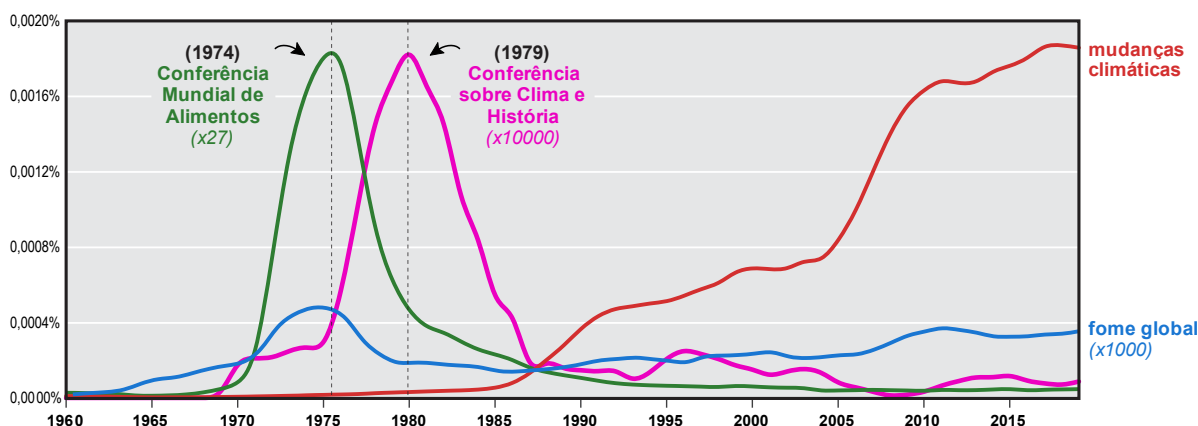
climatologistas de 30 países para participarem da primeira *Conferência sobre Clima e História* internacional, hospedada pela Unidade de Pesquisa Climática (CRU – *Climatic Research Unit*) da Universidade de East Anglia (Inglaterra). Posteriormente, a editora da Universidade de Cambridge publicou um volume contendo os artigos mais inovadores da conferência. No mesmo ano de 1979, a OMM criou o *Programa Mundial do Clima* com o mandato de “inserir considerações climáticas na formulação de alternativas políticas racionais”. Ninguém duvidava então de que o clima global havia sofrido mudanças dramáticas no passado ou que, mais cedo ou mais tarde, poderia sofrer mudanças igualmente dramáticas no futuro (PARKER, 2013).

Essas iniciativas aconteceram à sombra de uma crise alimentar mundial: o preço do trigo triplicou e o do arroz quintuplicou entre 1972 e 1974, um reflexo das quebras de safra no Sul da Ásia, América do Norte, Sahel e URSS – tudo em virtude de um forte episódio do El Niño de 1971–72 que sugeria que um sistema de teleconexões poderia explicar como o clima global “funcionava”. A ONU, portanto, convocou uma *Conferência Mundial de Alimentos* em 1974, que fez uma solene declaração: “é responsabilidade comum de toda a comunidade internacional garantir a disponibilidade em todos os momentos de suprimentos mundiais adequados de alimentos básicos; por meio de reservas apropriadas, todos os países deveriam cooperar no estabelecimento de um sistema mundial eficaz de segurança alimentar” (PARKER, 2013).

Antes que os governos tivessem tempo para aprovar essas resoluções, no entanto, a sombra de uma crise

mundial de alimentos desapareceu graças à *Revolução Verde*: novas variedades de alto rendimento de trigo, milho e arroz, combinadas com o aumento do uso de irrigação e fertilizantes, pesticidas e herbicidas, aumentaram drasticamente a produção de alimentos. A *fome global* praticamente desapareceu das manchetes e as *mudanças climáticas* praticamente desapareceram da agenda de pesquisa dos historiadores. Utilizando dados do *Google Ngram*, é possível visualizar a evolução da importância dada aos dois temas, conforme pode-se observar na **Figura 223**, cujas curvas indicam o seguinte: a escala vertical corresponde ao termo *mudanças climáticas*. Fazendo algumas contas rápidas, nota-se que a *Conferência Mundial de Alimentos* foi cerca de 40 vezes ( $\approx 1000 \div 27$ ) mais popular no corpus do *Google Ngram* e, portanto, pode ser considerada como “mais importante” que a *Conferência sobre Clima e História*. O termo *fome global* teve um pico juntamente com a *Conferência Mundial de Alimentos*, todavia, depois disso, nunca mais teve tais patamares ultrapassados.

Por fim, considerando o conjunto de todas as curvas, conclui-se que as *mudanças climáticas* tem sido o termo mais popular/importante nessa comparação, apresentando uma tendência crescente e de magnitude extraordinariamente superior aos demais termos. A *Conferência sobre o Clima e História* pode ter tido quase 40 vezes menor evidência que a *Conferência Mundial de Alimentos*, no entanto, fica claro que o termo *mudanças climáticas* ultrapassa, em diversas ordens de grandeza (mil vezes mais), a importância dada à *fome global*.



**Figura 223** – Evolução (1960-2019) da importância relativa de diferentes termos (conforme publicação de livros no *Google Ngram*): *Conferência Mundial de Alimentos*, ocorrida em 1974; *Conferência sobre Clima e História*, ocorrida em 1979; *fome global*; e *mudanças climáticas*<sup>396</sup>. Existe uma pequena defasagem (de aproximadamente 1 ano) entre as ocorrências das Conferências e os picos correspondentes, visto que é esperado haver mais menções nas publicações de livros logo após os eventos. Fonte: elaboração própria, com base em consultas realizadas no *Google Ngram*<sup>397</sup>

<sup>396</sup> Para todas as curvas “aparecerem” no gráfico, os dados de alguns termos foram multiplicados (pois apresentam valores bem menores), na proporção indicada entre os respectivos parênteses. Por exemplo, para o gráfico da *fome global* (curva azul) se tornar visível na escala indicada (que é relativa ao termo *mudanças climáticas*, curva vermelha), foi necessário multiplicar por 1.000 vezes os valores da série histórica.

<sup>397</sup> Parâmetros da pesquisa: termos pesquisados = (*Conference on Climate and History*\*10000), (*World Food Conference*\*27), (*climate change + Climate Change*), (*global famine*\*1000); Período = 1960-2019; Corpus = *English*(2019); Suavização (*smoothing*) = 0.

### I.2.4.3. Os ciclos e fases do tópico “mudanças climáticas”

Em 1990, o IPCC publicou seu primeiro *Relatório de Avaliação*, documento afirmava que “emissões resultantes de atividades humanas estão aumentando substancialmente as concentrações atmosféricas de GEEs”, e que sem ação imediata para reduzir as emissões de GEEs, um “aquecimento adicional da superfície da Terra” era inevitável.

O primeiro Relatório do IPCC foi o responsável por dar o pontapé inicial para o surgimento do problema das mudanças climáticas como um problema de alta visibilidade internacional. A partir de 1990, o IPCC tem publicado grandes relatórios, em média, a cada 5 anos. A partir desses fatos e, em associação com dados obtidos no *Google Ngram*, construiu-se um diagrama visual dos *ciclos e fases das mudanças climáticas*, conforme apresentado na **Figura 224**.

Começando pela parte superior da referida figura, o primeiro nível apresenta um primeiro divisor em 2003, com indicação do que aqui convencionou-se denominar fase *pré-Internet* e fase *pós-Internet*<sup>398</sup>. Na primeira fase, a discussão em torno das *mudanças climáticas* estava restrita aos meios científicos/acadêmicos e diplomáticos, cujas ações giravam em torno de grandes eventos internacionais (Convenções, Conferências, Congressos, Encontros, Simpósios etc.). Já com o advento da *Internet*, a segunda fase marca a ampla difusão e popularização da temática climática. No segundo nível da figura, existem três fases: *FASE 01 – Amarela* (1980-2003), agregando os três primeiros Relatórios do IPCC; *FASE 02 – Laranja* (2003-2015), agregando dois relatórios do IPCC; e *FASE 02 – Vermelha* (2015-202?), agregando o último relatório publicado pelo IPCC, com uma eventual futura extensão com prazo ainda indeterminado.

Agora, descendo um pouco o olhar para o terceiro nível (*Relatórios do IPCC*), logo abaixo percebe-se que existem indicações de *defasagens* entre as datas das publicações e os respectivos picos nas curvas das frequências relativas do termos *Relatório do IPCC* e *mudanças climáticas*. Tal fato ocorre em virtude de os livros fazerem maior referência aos relatórios após as efetivas publicações. Direcionando o foco para as curvas, nota-se, de modo geral para todo o período, que a curva vermelha (*mudanças climáticas*) acompanha, quase sincronicamente, a curva azul (*Relatório do IPCC*). Ainda, observa-se que os picos nas duas curvas costumam ocorrer logo após as

publicações dos Relatórios do IPCC (considerando as defasagens já explicadas antes). Portanto, as curvas seguem ciclos sincronizados com tais relatórios. Voltando a comparar o período pré e pós-*Internet*, percebe-se que existem dois patamares de popularidade nas curvas vermelha e azul: no segundo período, os valores são, em média, o dobro do primeiro período. A transição entres esses patamares inicia-se com a *FASE 02 – Laranja*, nas quais as curvas vermelha e azul sofrem uma vertiginosa ascensão até atingir um grande pico entre 2009-2010 (sendo que, em 2007, houve a publicação do Quarto Relatório do IPCC – “AR4”). Tais patamares das citadas curvas mantêm seus valores relativamente estáveis até o final da série (2019). A *FASE 03 – Vermelha* se torna evidente ao considerar a curva preta (*Eco-ansiedade*), que apresentou uma vistosa explosão em seus valores a partir de 2015. Antes desse trecho exponencial, a curva preta já tinha apresentado pequenos picos em 1994 e 2001, mantendo, no período de 2009-2015, um platô proporcionalmente baixo (no mesmo nível dos picos precedentes). Mas algo de muito relevante deve ter acontecido após 2015 para explicar o “estouro” vertiginoso na *eco-ansiedade*. Os fatores causadores desse fenômeno serão investigados detalhadamente nos tópicos subsequentes. Por fim, na **Figura 224** consta ainda uma linha tracejada branca no ano de 2019, separando o limite de disponibilidade de dados do *Google Ngram*.

Aproveitou-se para fazer um prolongamento à direita no gráfico, indicando a data correspondente à publicação do Sexto Relatório do IPCC (“AR6”), prevista para 2021/22. Até lá, restam dúvidas sobre quais serão os comportamentos das três curvas aqui consideradas. Contudo, pela tendência observada, mantêm-se a coloração desse trecho no tom vermelho, pois desconfia-se – pode-se dizer, com alguma boa margem de segurança – que a *FASE 03* ainda pode postergar-se por alguns anos adiante. O fundo *dégradé* do gráfico – que parte, à esquerda, de tons verdes, atravessa tons amarelos e alaranjados ao centro, até chegar aos tons vermelhos à direita – é um recurso visual propositalmente utilizado. A transição de cores representa o aumento de um dos fatores básicos subjacentes à *eco-ansiedade*: o incremento do alarmismo climático.

Em complementação à **Figura 224**, algumas informações adicionais são apresentadas na **Tabela 10**. Ambos ajudam a oferecer um panorama geral de um quebra-cabeças intrincado, cujas peças e encaixes serão analisados criticamente na sequência.

<sup>398</sup> Em 2003, somente cerca de 12% da população mundial tinha acesso à *Internet*.

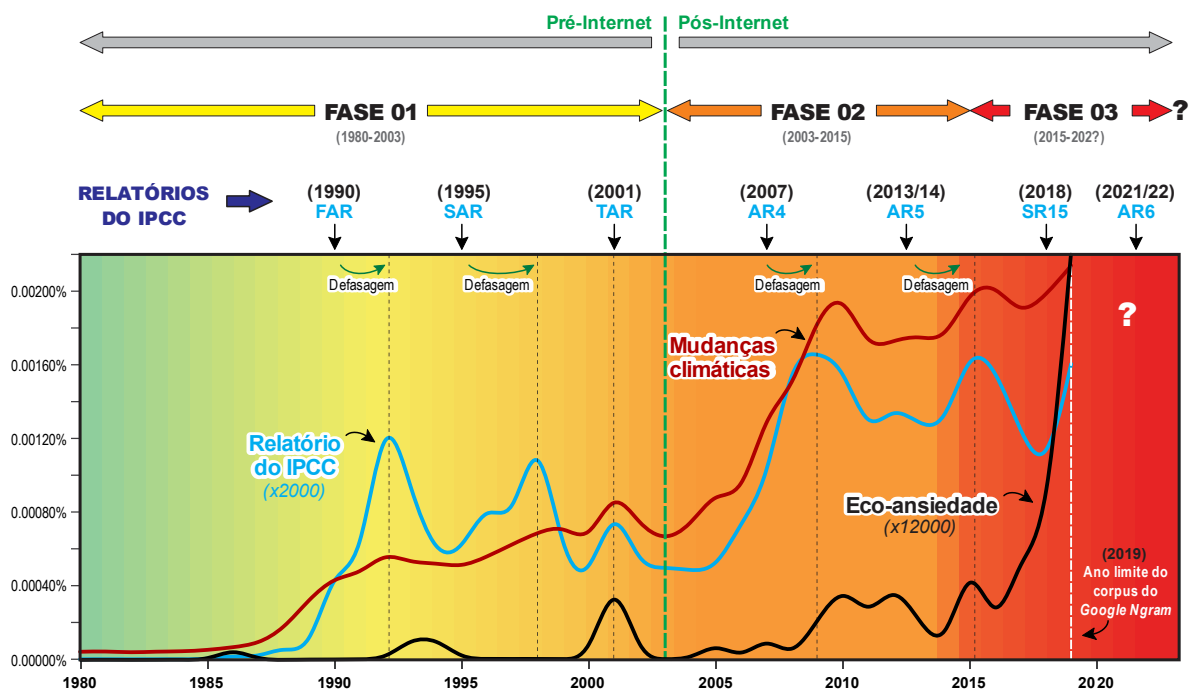


Figura 224 – Evolução (1980-2019) da importância relativa de diferentes termos (conforme publicação de livros no Google Ngram): Mudanças climáticas, Relatórios do IPCC e Eco-ansiedade<sup>399</sup>. Fonte: elaboração própria, com base em consultas realizadas no Google Ngram<sup>400</sup>.

**Tabela 10 – Fases e atributos do tema “mudanças climáticas”, em complementação à Figura 224.**

FASE	PERÍODO	MEDO	ABRANGÊNCIA	FERRAMENTAS / FATOS	MEIOS	RESULTADOS
1 Amarela	1980-2003 “Aquecimento Global”	Medo leve (“Receio dos especialistas”)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Científica</li> <li>Diplomática</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Primeiras pesquisas e estudos científicos</li> <li>Primeiras tratativas internacionais</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Periódicos científicos, livros acadêmicos</li> <li>Eventos e convenções internacionais</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fundamentação do problema</li> <li>Planos e ideias de soluções</li> </ul>
2 Laranja	2003-2015 “Mudanças Climáticas”	Medo moderado “Popularização da preocupação”)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Científica</li> <li>Política</li> <li>Cultural</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Reuniões da COP e Relatórios do IPCC</li> <li>Incremento na produção de filmes, livros, documentários, artigos jornais e revistas, reportagens de TV</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mídias convencionais: TV, rádio, jornais, revistas</li> <li>Mídias virtuais: sites de notícias, blogs.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Alarmismo sem efeitos colaterais sérios</li> <li>Popularização do tema entre adultos: preocupação passiva</li> <li>Tentativas de implementação das soluções (Protocolo de Quioto)</li> </ul>
3 Vermelha	2015-2022? “Crise/ Colapso/ Emergência Climática”	Medo forte (“Ansiedades ecológica e climática”)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Científica</li> <li>Política</li> <li>Cibercultural juvenil</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Organização, engajamento, mobilização, enfrentamento e reivindicação</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mídias virtuais e sociais da Internet: Youtube, Instagram, Twitter, Facebook, Whatsapp etc.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Alarmismo com efeitos colaterais graves: eco-ansiedade e ansiedade climática</li> <li>Popularização do tema entre jovens (adolescentes e crianças): aflição proativa</li> <li>Tentativas de implementação das soluções (Acordo de Paris)</li> </ul>

Fonte: elaboração própria.

<sup>399</sup> Sobre os valores indicados em parênteses após alguns termos, ver explicação conforme nota de rodapé n. 396.

<sup>400</sup> Parâmetros da pesquisa: termos pesquisados = (IPCC report+ IPCC Report\*2000), (climate change+ Climate Change+ Climate change+ CLIMATE CHANGE), (ecoanxiety\*12000); Período = 1980-2019; Corpus = English(2019); Suavização (smoothing) = 0.

Desde que foram disparados os alarmes contra a ameaça das mudanças climáticas, a altura do som dos alarmes só tem aumentado. Com o crescente uso de termos como *crise climática*, *colapso climático* e *emergência climática*, será provado que existe atualmente uma campanha internacional de pesada propagação de conteúdos causadores de um medo descabido. O abuso inescrupuloso desse tipo de discurso, fundamentado em uma linguagem apelativa às tragédias catastróficas, é o principal indutor das ansiedades ecológica e climática.

#### I.2.4.4. O início do alarmismo climático

Até a década de 1990, todas as discussões em torno das mudanças climáticas estavam restritas às associações científicas, acadêmicas e de organizações internacionais (ONU, IPCC etc.). As questões ambientais genéricas, abrangendo diversos assuntos concomitantemente, teve discussões e controvérsias mais adiantadas do que os embates relativos às questões climáticas. Nesse contexto, cabe abrir o seguinte quadro:

#### CULPA VERDE E SOBRECARGA ECOLÓGICA

Em 1992, ano da ECO-92, o historiador e ambientalista Theodore Roszak, creditado por conceber o termo *Ecopsicologia*<sup>401</sup>, já alertava sobre discursos ambientalistas extremistas de cientistas da época. Abaixo transcritos, em trechos destacados de sua opinião no *New York Times* (ROZAK, 1992), Roszak acusava ambientalistas de promover o uso excessivo e incorreto da “culpa verde” (*green guilt*) ou “eco-culpa”, causadora da *fadiga emocional* do público (“sobrecarga ecológica”, *ecological overload*) e de sentimentos de impotência e inutilidade. Ao iniciar sua argumentação reprovando a postura alarmista da física Helen Caldicott, Roszak tece comentários quanto ao exagero retórico que se tornou um elemento básico da defesa do meio ambiente:

Estou ouvindo uma palestra de Helen Caldicott, a ativista ambiental. A Dra. Caldicott está em sua melhor forma, exibindo sua habitual mistura estimulante de humor cáustico e urgência profética. Ao meu redor, uma audiência de fiéis está respondendo com fervor (...), torcendo por ela enquanto ela relaciona uma lista familiar de calamidades iminentes: chuva ácida, aquecimento global, espécies ameaçadas.

(...)

A apresentação dela pretende incutir o desconforto. No meu caso, ela está tendo sucesso, embora não da maneira que pretende. Ela está me deixando preocupado, assim como muitos de meus colegas ambientalistas começaram a me preocupar – não apenas pelo destino da Terra, mas pelo destino deste movimento do qual tanto depende. Por mais que eu queira endossar o que ouço, o esforço da Dra. Caldicott para chocar e envergonhar simplesmente não está funcionando. (...) em vez de eu cair na autopunição, (...) fico paralisado.

É possível que a *culpa verde*, o pilar do movimento, tenha perdido seu cabresto ético?

(...) lembro a mim que o importante é espalhar o alarme. E a Dr. Caldicott é uma alarmista inspirada.

(...) se os políticos e líderes corporativos tem sido negligentes em registrar a emergência, o público em geral pode não compartilhar sua despreocupação. Nas últimas duas décadas, os ambientalistas têm feito um bom trabalho em assustar e envergonhar as pessoas. Eles têm sido tão eficazes que o movimento pode correr o risco de prejudicar a capacidade do público de agir.

Se compilássemos todos os avisos de todos os grupos ecológicos, haveria pouco que nós, no mundo industrial, pudéssemos fazer que não fosse letal, perverso ou ambos. Dos filtros de café com dioxina que usamos pela manhã aos cobertores elétricos com que nos cobrimos à noite, somos assediados por perigos mortais.

<sup>401</sup> Técnica e ideologia terapêutica que tenta tratar as pessoas psicologicamente, aproximando-as espiritualmente da natureza. Em seu livro *“The Voice of the Earth: An Exploration of Ecopsychology”* de 1992, Roszak explica a Ecopsicologia:

“seu objetivo é fazer a ponte entre o antigo abismo histórico da nossa cultura entre o psicológico e o ecológico, para ver as necessidades do planeta e da pessoa como um continuum. Em busca de maior sanidade, começa onde muitos podem dizer que a sanidade termina: no limiar do mundo não humano. Outras terapias buscam curar a alienação entre pessoa e pessoa, pessoa e família, pessoa e sociedade. A Ecopsicologia busca curar a alienação mais fundamental entre a pessoa e o ambiente natural”.

Pior ainda, muitos desses perigos nos tornam cúmplices involuntários de crimes contra a biosfera. Meus óculos, por exemplo. Como poderia ter adivinhado que a armação é feita de uma espécie em extinção, a tartaruga-de-pente<sup>402</sup>?

Não tenho dúvidas de que esses problemas são tão sérios quanto afirmam os ambientalistas. Acontece simplesmente que há tantos deles e cada um vem até nós gritando: “Eu primeiro! Eu primeiro!” Em parte, a *sobrecarga ecológica* decorre da maneira aleatória como o movimento opera.

(...) a biosfera foi balcanizada<sup>403</sup> em uma paisagem de áreas de desastre. Muitos grupos competem pela atenção do público e por fundos, cada um concentrado em um único horror. Fome, poluição, a camada de ozônio, a camada superficial do solo, as florestas tropicais, as baleias, os lobos, as corujas pintadas. Na política, mil pessoas exigindo que façamos uma coisa certa diferente podem resultar em uma grande coisa ruim: a rejeição pública.

Esse resultado é ainda mais provável quando os ambientalistas começam a repreender o público. (...) um escritor científico e defensor do ambientalismo, pergunta: “*Sou apenas eu ou todos os outros se sentem culpados por estarem vivos também? Eventualmente, e provavelmente em breve, estaremos todos reduzidos a rastejar em desgrça, nervosos com nossos prazeres mais simples.*”

(...) Ao entrarmos na década de 1990, os ambientalistas estão começando a ver quem está colhendo o benefício político da frustração culpada que disseminaram com tanta diligência. Uma fanática reação anti-ambiental agora em curso está destruindo o bem mais importante dos ecologistas: sua reivindicação de virtude pública.

(...)

Está claro que é hora de o movimento ambientalista fazer uma declaração de impacto psicológico. Levamos táticas do medo e marchas da culpa longe demais? No mínimo, o problema é de relações públicas eficazes. A vergonha sempre foi um dos piores e mais imprevisíveis motivadores da política; ela facilmente se transforma em ressentimento. Questione todo o modo de vida das pessoas e o que você poderá obter é rigidez defensiva.

[ROSZAK, 1992, não paginado (*online*); tradução nossa; grifos nossos].

Retomando o enfoque na evolução da discussão sobre o aquecimento global... Foi a partir da terceira publicação do IPCC, em 2001, que o teor das declarações científicas começaram a ser mais incisivas e alarmantes, passando a assumir um teor mais preocupante: no Terceiro Relatório do IPCC (“TAR” ou “AR3”), indicaram que “evidências novas e mais fortes de que a maior parte do aquecimento observado nos últimos 50 anos é atribuível às atividades humanas”. Nesse relatório, os modelos climáticos projetavam que, entre 1990 e 2100, a Terra poderia ter um aumento média da temperatura entre 1,4 a 5,8 °C, dependendo da quantidade de emissões de GEEs. Ainda, declararam que seria muito provável que a taxa projetada de aquecimento seria sem precedentes durante pelo menos os últimos 10.000 anos.

Assim, na década de 2000, a temática climática foi sendo gradativamente explorada midiática e

politicamente, popularizando o tema e trazendo preocupação às pessoas. Em trabalho nosso (OLIVEIRA; CARNEIRO; VECCHIA, 2017), utilizamos de séries do *Google Trends*, de 2004 a 2017, contendo o histórico de buscas por palavras associadas ao tema, e identificamos eventos marcantes que culminaram no ápice do interesse pelo tema em 2007: o lançamento do filme “*Uma Verdade Inconveniente*”, do Al Gore, ex-Vice Presidente dos EUA, que foi agraciado com o Oscar de 2006, a publicação do Quarto relatório do IPCC, e o Prêmio Nobel da Paz concedido ao IPCC e ao Al Gore, em 2017.

Extrapolando os círculos científicos, acadêmicos e políticos, o aquecimento global difundiu-se pela população em geral pelas mídias convencionais e culturais (TV, rádio, revistas, jornais, cinema etc.). A transmissão dessa mensagem ao grande público só ocorreu com relativo sucesso porque, em grande parte, os

<sup>402</sup> As armações de óculos feitas com cascos de tartaruga foram popularizadas pela primeira vez na década de 1920. A “tartaruga de pente”, em particular, era conhecida por suas marcações suaves e desejáveis, e seus cascos eram utilizados em tudo, desde pentes, a palhetas de violão e óculos. Mas a carapaça de tartaruga foi rapidamente proibida na década de 1970, para evitar que os animais se extinguissem. Em seu lugar, os fabricantes começaram a usar um acetato personalizado que imitava a aparência do verdadeiro casco de tartaruga, sem as consequências prejudiciais.

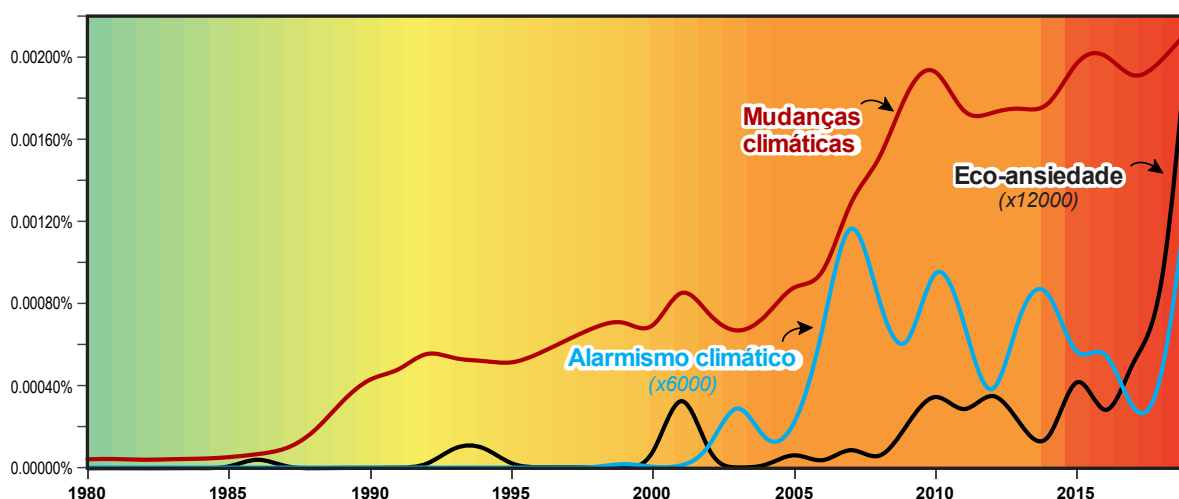
<sup>403</sup> *Balcanização* é um termo geopolítico usado para uma fragmentação desordenada ou imprevisível, ou subfragmentação, de uma região maior ou estado em regiões ou estados menores, que podem ser hostis ou não cooperativos entre si.



meios de comunicação em massa, ao traduzir a linguagem científica (tipicamente técnica e complexa), para uma linguagem mais simples e coloquial (fácil de ser compreendida pelas pessoas comuns), adotaram uma vertente fundamentada na espetacularização, ou seja, só ganharam vultosa atenção por meio da apelação para uma imensa tragédia climática.

A **Figura 225** ilustra bem o comportamento do alarmismo ao longo do tempo, conforme dados extraídos do *Google Ngram*. No gráfico, que tem como base a **Figura 224**, é possível verificar que o *alarmismo climático* começou a ter os primeiros registros nos livros a partir de 2000. Em 2005, a

curva iniciou uma vultosa ascendência até atingir um pico em 2007, seguida por dois picos menores em 2010 e 2013-2014. Ao longo de quase 10 anos – no período compreendido entre o grande pico em 2007 até 2016 – houve uma tendência média de redução de citações no corpus do *Google Ngram* sobre o *alarmismo climático*. No entanto, em 2017 houve uma reversão seguida por um súbito crescimento exponencial até 2019. Nota-se que, com uma pequena defasagem, a curva azul (*alarmismo climático*) entre 2017-2019 segue praticamente o mesmo comportamento da curva preta (*eco-ansiedade*), demonstrando-se, aqui, a forte correlação<sup>404</sup> entre esses dois termos.



**Figura 225** – Evolução (1980-2019) da importância relativa de diferentes termos (conforme publicação de livros no *Google Ngram*): *Mudanças climáticas*, *Alarmismo climático* e *Eco-ansiedade*<sup>405</sup>. Fonte: elaboração própria, com base em consultas realizadas no *Google Ngram*<sup>406</sup>.

No contexto do advento do alarmismo climático, há 15 anos atrás, Hulme (2006, 2008) alertava sobre a linguagem do discurso público alarmista em torno do aquecimento global que passava a utilizar, cada vez mais rotineiramente, um repertório que incluía palavras como “catástrofe”, “terror”, “perigo”, “desastre”, “extinção”, “colapso”, “caótico”, “irreversível”, “rápido” etc. Esse discurso passava também a ser caracterizado por frases curtas de grande efeito como “a mudança climática é pior do que pensávamos”, que nos aproximamos de um “devastação irreversível no clima da Terra”, e que estamos “no ponto sem volta”. A partir daquela época, não somente apenas os ambientalistas ativistas, mas

também os políticos e cientistas, passavam a confundir abertamente a linguagem do medo, terror e desastre com a realidade física observável das mudanças climáticas, ignorando ativamente as incertezas inerentes às previsões da ciência.

Com a tragédia começando a imperar no ambiente científico e midiático, alguns pesquisadores do clima criticaram (GHOSH, 2007) que seus colegas da Ciência estavam exagerando a mensagem do aquecimento global. Eles recriminavam que cientistas, políticos e a mídia eram todos culpados por atribuir as causas eventos catastróficos quando isso não era provado cientificamente. Estava virando uma certa moda – equivocada – a tendência de

<sup>404</sup> Dessa forte correlação recente, decorre uma indagação: mas por que os elevados níveis de *alarmismo climático* não implicaram altos níveis de *eco-ansiedade* no pico de 2007? Como será visto adiante, talvez dois fatores expliquem a elevada ascensão do eco-ansiedade somente no período mais recente (2017-2019). Diferentemente de 2007, nos últimos 3 anos houve: I. A explosão no uso de termos trágicos (*crises colapsos emergência* climática) antes não tão presentes; e II. O envolvimento de um público jovem mais suscetível aos efeitos panicogênicos ocasionados pelo alarmismo climático.

<sup>405</sup> Sobre os valores indicados em parênteses após alguns termos, ver explicação conforme nota de rodapé n. 396.

<sup>406</sup> [Parâmetros da pesquisa: termos pesquisados = (*climate change*+ *Climate Change*+ *Climate change*+ *CLIMATE CHANGE*), (*climate alarmism*\*6000), (*ecoanxiety*\*12000); Período = 1980-2019; Corpus = *English* (2019); Suavização (*smoothing*) = 0].

dizer que eventos extremos individuais eram evidências das mudanças climáticas já ocorrendo. Até mesmo a Associação Americana para o Avanço da Ciência disse à época (2007), sem embasamento científico para tal, que a intensificação das secas, ondas de calor, inundações, incêndios florestais e tempestades eram “sinais de alerta de danos ainda mais devastadores que virão”. A mídia propositalmente acirrou uma conduta alarmista, sensacionalista, especialmente pelo uso de palavras como “catastrófico”, “aterrorizante” e “devastador” que não constavam dos relatórios do IPCC.

A linguagem da catástrofe não é a linguagem da ciência. Ainda, segundo Hulme (2006), afirmar que a mudança climática será “catastrófica” esconde uma cascata de suposições carregadas de valores que não emergem da ciência empírica ou teórica. A linguagem do medo e do terror opera como um veículo cada vez mais enfraquecido para uma comunicação eficaz ou incentivo para a mudança de comportamento. Enquadrar a mudança climática como uma questão que evoca medo e estresse pessoal torna-se uma profecia que se auto-realiza. Ao exagerar os riscos, exacerbamos, por meio de amplificadores psicológicos, os próprios riscos que estamos tentando evitar.

Assim, ao ampliar os riscos das mudanças climáticas, pode conduzir-se por um caminho contraproducente. O discurso da catástrofe corre o risco de lançar a sociedade em uma trajetória negativa, depressiva e reacionária.

#### 1.2.4.5. Prenúncio da “emergência climática”

Na obra de Spratt e Sutton (2007), os autores já alertavam que era “perceptível que a linguagem usada para falar sobre as mudanças climáticas está mudando de uma conversa de ‘crise’ para uma ‘emergência global’”. O filme e o livro de Al Gore sobre a “Verdade Inconveniente” ajudou, e o Secretário-Geral da ONU, Ban Ki Moon, na preparação para a conferência de Bali de dez/2007, falou explicitamente: “esta é uma emergência e, para situações de emergência, precisamos de ações emergenciais”.

Por que a linguagem mudou? Provavelmente porque uma emergência é uma crise que só pode ser resolvida indo muito além do *business as usual* (“negócio como de costume”); e não é possível fazer essa mudança, a menos que se comunique inequivocamente a necessidade uns aos outros. Usar a linguagem da emergência é precursora desse processo. Assim, segundo os retrocitados autores:

“talvez o clímax do processo seja a declaração formal de um ‘estado de emergência climática’<sup>407</sup> pelos governos.”

Quando um estado de emergência é declarado, tem-se como consequências: que as autoridades consideram o problema muito sério; que a prioridade será dada à resolução da crise; que estamos todos juntos na crise e que “negócios como de costume” não se aplicam mais oficialmente. Um *estado de emergência* – formal ou informal – é o reconhecimento de que uma ameaça atual ou potencial à vida e à saúde, à propriedade e / ou ao ambiente natural é suficientemente grande para que a resposta exija uma mobilização de recursos além do funcionamento normal da sociedade ou sistema. Essas ameaças podem ser civis ou militares: podem ser naturais (incêndio, inundação, tsunami, terremoto), políticas (guerra e conflito), biomédicas (doenças infecciosas) ou resultar de uma combinação de fatores (fome, deslocamento da população).

Para lidar com uma emergência desconhecida, muitas vezes é necessário empreender “programas intensivos” – programas que derrubam as barreiras do sucesso – para criar uma nova capacidade. Exemplos icônicos de programas de impacto são o *Projeto Manhattan* (por meio do qual os EUA desenvolveram a bomba nuclear) e o *Programa Apollo*, também dos EUA, para levar astronautas à Lua. Mas às vezes a emergência é tão exigente que toda a economia precisa ser mobilizada para novos propósitos. A experiência das duas guerras mundiais vem à mente: depois de Pearl Harbor em 1941, os EUA foram capazes de redirecionar e deixar de ser a maior economia de consumo do mundo para se tornar a maior economia de guerra do mundo em um ano.

Mas, no caso das mudanças climáticas, seria necessário dar um passo adiante e mudar não apenas o que a economia produz, mas também como ela produz. A experiência do Japão, das economias dos tigres asiáticos e, mais recentemente, da China é instrutiva. Por exemplo, em duas décadas a Coreia do Sul transformou sua economia completamente de uma economia agrícola muito pobre para uma economia manufatureira de renda média e competitiva mundialmente.

Os programas transformacionais podem se concentrar na ampliação de tecnologias ou processos existentes (para produzir um resultado rapidamente) ou na busca de inovações fundamentais para resolver um novo problema. Por exemplo, o Projeto Manhattan que se propôs a construir uma bomba nuclear e a indústria nuclear relacionada com praticamente nenhum conhecimento

<sup>407</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Climate\\_emergency\\_declaration](https://en.wikipedia.org/wiki/Climate_emergency_declaration) e [https://pt.wikipedia.org/wiki/Estado\\_de\\_emergência\\_climática](https://pt.wikipedia.org/wiki/Estado_de_emergência_climática) (OBS: as versões em Inglês e Português possuem conteúdos substancialmente diferentes).

inicial sobre como fazer isso. Alguns programas transformacionais combinam aspectos de expansão e inovação fundamental como é o caso do Programa Apollo.

Todas essas transformações muito rápidas e em grande escala são caracterizadas por um forte envolvimento dos governos para planejar, coordenar e

alocar recursos, apoiado por poder administrativo suficiente para alcançar uma resposta rápida ou transformação além da capacidade da sociedade ou do funcionamento normal do sistema. Um estado de emergência provavelmente exibirá muitas ou a maioria das seguintes características na **Tabela 11**.

<b>Tabela 11 – Características de modos políticos <i>normal</i> e <i>emergencial</i>.</b>	
<b>MODO NORMAL (DE “PARALISIA POLÍTICA”)</b> (quando as crises são restringidas dentro do modo usual de negócios)	<b>MODO DE EMERGÊNCIA</b> (quando as sociedades se envolvem de forma produtiva com as crises – não no modo de pânico)
Enrolação, negação e “política como sempre”	Avaliando a situação com honestidade brutal
Nenhuma ameaça urgente percebida	Ameaça imediata ou iminente à vida, saúde, propriedade ou meio ambiente
O problema ainda não é sério	Alta probabilidade de escalada além do controle se ação imediata não for tomada
O tempo de resposta não é importante	Velocidade de resposta crucial
Um de muitos problemas	Prioridade máxima
Mercado de trabalho	Equipes de projeto de emergência, planejamento de trabalho
“Restrição” orçamentária	Usando todos recursos disponíveis/necessários, empreste muito dinheiro, se necessário
Comunidade e mercados funcionam normalmente	As funções não essenciais e o consumo podem ser reduzidos ou racionados
Taxa lenta de mudança devido à inércia sistêmica	Transição rápida, ampliação
As necessidades do mercado dominam o pensamento e opções de resposta	Planejando, fomentando a inovação
Metas e objetivos determinados por trocas políticas	Metas e objetivos não comprometidos
Cultura de compromisso	Falhar não é uma opção
Falta de liderança política e nacional, política adversária	Liderança heroica, bipartidarismo

Fonte: adaptado de Spratt e Sutton (2007).

Por fim, alegando que, “embora seja a maior ameaça da história da humanidade”, o aquecimento global não está sendo tratado como uma emergência, os autores fazem a seguinte analogia: compare isso com outras respostas de emergência. Se a saúde do planeta estivesse sendo cuidada no pronto-socorro de um hospital, a essa altura o padre estaria de prontidão. Em um departamento de emergência de um hospital, quando a vida está sob ameaça, uma resposta imediata é necessária e o atraso não é aceitável. Salvar vidas tem prioridade máxima e outras funções podem ser adiadas ou canceladas (por exemplo, cirurgia eletiva programada), se necessário. O compromisso no atendimento ao paciente não é uma opção. Tal como acontece com a mudança climática descontrolada, as emergências médicas geralmente têm apenas dois resultados possíveis: nenhum compromisso é fisicamente possível entre a sobrevivência e a morte.

### **1.2.5. DISPARADORES DO ALARME CLIMÁTICO**

Em 2017, o artigo (WALLACE-WELLS, 2017) mais lido na história da Revista New York, intitulado “A Terra Inabitável”, descreveu um cenário medonho de aquecimento global. A foto no topo resumia o tom: um

crânio humano fossilizado, o queixo escancarado sob os óculos escuros de aviador, pairava sobre uma legenda avisando que as pessoas poderiam ser “cozidas até a morte por dentro e por fora” em um clima mais quente. A alta repercussão desse artigo ganhou muito destaque, inclusive críticas severas (VINCENT, 2017; DELINGPOLE, 2017), incluindo apontamentos como “o artigo da Revista New York quebrou o recorde mundial do exercício mais assustador, catastrófico e histórico sobre uma extravagante destruição climática em toda história do universo”.

Pelo episódio anterior, nota-se que parece não existir limites para o nível de choque e pavor que a mídia pode tentar provocar nas pessoas. Ao dramatizar, ao extremo, os horrendos e piores cenários climáticos, a referida reportagem conseguiu exatamente concretizar a sua intenção inicial: chamar a atenção do maior público possível. E, de fato, com essa estratégia apavorante adotada no artigo, eles conseguiram atingir a maior audiência na história da revista.

A mídia possui forte influência na formação de opiniões no público em geral. Quando se trata de assuntos complexos e controversos como as mudanças climáticas, diversos fatores são misturados no processo de mediação entre ciência e mídia. Um primeiro fator é o

fato de a ciência possuir uma linguagem complexa, com probabilidades e incertezas estatísticas inerentes ao estudo científico de riscos e cenários futuros. Ao tentar traduzir para uma linguagem mais popular, a mídia pode incorporar outros interesses além de somente relatar e informar: I. Interesses próprios de cooptar a atenção pública e continuar lucrando com a venda de seus artigos e notícias. Para tanto, utilizam-se de estratégias sensacionalistas e alarmistas, com apelo ao trágico e catastrófico; e II. Interesses de grupos políticos sobre possíveis repercussões práticas, como decisões a serem tomadas para lidar com o problema sendo divulgado, definindo-se quais possíveis soluções (medidas mitigadoras e/ou remediadoras).

A ciência e a mídia possuem suas diferentes contribuições no alarmismo climático. Enquanto os cientistas tendem a ser mais técnicos e criteriosos na linguagem, às vezes escapam sutis mensagens que são interpretadas de modo enviesado pelos jornalistas. Originando-se na ciência, o processo alarmista é conduzido, em parte, como se fosse uma “brincadeira do telefone se fio”, onde as mensagens científicas iniciais vão sendo contaminadas e deturpadas, incorporando interesses diversos; até que, ao final, a mídia, usando o poder de seus megafones, dispara um forte alarme que incute a seguinte ideia nas pessoas: “Emergência climática! Alerta vermelho!”.

Ao longo dos anos, a mídia tem amplamente ignorado os cientistas e organizações que permanecem céticos em relação ao aquecimento global causado pelo homem e às mudanças climáticas. O público tem sido inundado com manchetes alarmistas sobre mudanças climáticas catastróficas e muitos governos acreditam que há uma emergência global que deve ser tratada de forma rápida e decisiva. O medo da mudança climática resulta em uma convergência de interesses entre ativistas que buscam financiamento, cientistas que se candidatam a bolsas e verbas de pesquisa, a mídia que vende notícias e ganha com publicidade, empresas que se autoproclamam como “verdes” e políticos em busca de votos. Pode não ser uma conspiração, mas é um alinhamento muito poderoso que se reforça mutuamente.

### 1.2.5.1. Dilemas científicos: alarmar ou não?

O cientista Stephen Schneider [1945-2010], pesquisador do Goddard Institute for Space Studies (GISS/NASA) e um dos autores-líder do 3º Relatório de Avaliação (AR3) do IPCC, comentou sobre as frustrações e dificuldades envolvidas em avaliar e comunicar ideias científicas:

Confesso prontamente uma frustração persistente: as incertezas infiltram tanto a questão da mudança climática que ainda é impossível descartar resultados moderados ou catastróficos, muito menos fornecer probabilidades confiáveis para todas as alegações e contra-alegações feitas sobre os problemas ambientais. Mesmo o órgão de avaliação internacional mais confiável, o IPCC, se recusou a tentar estimativas probabilísticas subjetivas de temperaturas futuras. Isso forçou os políticos a fazer suas próprias suposições sobre a probabilidade de vários graus de aquecimento global. As temperaturas em 2100 aumentarão 1,4 graus Celsius ou 5,8? A diferença significa mudanças relativamente adaptáveis ou muito prejudiciais (SCHNEIDER, 2002, p. 60; tradução nossa).

Schneider já havia admitido, em 1989, um grande dilema científico na questão climática, entre “ser eficaz ou ser honesto”:

Por um lado, como cientistas, estamos eticamente vinculados ao método científico, com efeito prometendo dizer a verdade, toda a verdade, e nada mais – o que significa que devemos incluir todas as dúvidas, as ressalvas, os “e se” [alternativas] e os “mas” [contradições]. Por outro lado, não somos apenas cientistas, mas também seres humanos. E como a maioria das pessoas, gostaríamos de ver o mundo um lugar melhor, o que, neste contexto, se traduz em nosso trabalho para reduzir o risco de mudanças climáticas potencialmente desastrosas. Para fazer isso, precisamos obter algum apoio de base ampla, para capturar a imaginação do público. Isso, é claro, envolve obter muita cobertura da mídia. Portanto, temos que oferecer cenários assustadores, fazer afirmações simplificadas e dramáticas e fazer pouca menção a quaisquer dúvidas que possamos ter. Este “duplo elo ético” em que frequentemente nos encontramos não pode ser resolvido por nenhuma fórmula. Cada um de nós deve decidir qual é o equilíbrio certo entre ser eficaz e ser honesto. Espero que isso signifique ser ambos.” (SCHNEIDER, 1989, p. 47; tradução nossa; grifos nossos).

Como veremos, parte do problema do alarmismo midiático é que o próprio campo da ciência foi infectado por meio de um “infodemia”, ou disseminação do discurso emotivo e rançoso, que ajuda a alimentar uma perigosa mídia social propagadora de informações exageradas e falsas.

### 1.2.5.2. Estratégias alarmistas

A poluição audiovisual tem se tornado tão comum que muitos perdem todo o senso do direito à paz e à tranquilidade. As notícias em particular, uma estranha combinação de ansiedade e diversão, tornou-se cada vez

mais irreal e surreal. A ansiedade impulsiona a atenção: uma parte importante da estratégia do modelo na apresentação de notícias é encontrar uma maneira de induzir a ansiedade no espectador. O princípio operacional do produtor de notícias parece ser: “Se eu puder trazer insegurança e incerteza – sobre seus filhos, sua casa, seu trabalho, sua comida ou sua segurança (abelhas assassinas, formigas de fogo, gripe, SARS, AIDS, doença da vaca louca ou vírus do Nilo Ocidental) – então posso capturar e prender sua atenção”. Albrecht (2006) lista algumas estratégias e formatos de conteúdo que a mídia utiliza em suas campanhas alarmistas e sensacionalistas:

1. **Choque e horror:** tiroteio na escola, por exemplo;
2. **Tragédia:** furacões e outros desastres são ótimos para essa categoria;
3. **Erotismo:** insinuação sexual com celebridades sempre dá uma boa história;
4. **Escândalo:** pessoas adoram ver os vilões serem descobertos;
5. **Queda de poderosos:** mostrar os ricos e poderosos sendo derrubados de seus pedestais;
6. **Conflito:** sempre adiciona “força” a uma notícia; as pessoas adoram assistir a uma luta, mesmo que seja apenas uma luta de ofensas;
7. **Preocupação:** diga-me com o que me preocupar esta semana: Furacões? Preços de gasolina? Crime?
8. **Voyeurismo:** mostrar algo bizarro, doentio, distorcido ou sinistro;
9. **Dilemas:** aborto, pena de morte, eutanásia; conflitos insolúveis são fáceis de disfarçar como relatórios “equilibrados”; e
10. **Histórias suaves (“água com açúcar”):** algo tranquilo, fofo ou divertido de vez em quando, para não achar que as notícias sejam todas negativas: o concurso de soletrar, por exemplo, ou o cachorro que resgata os idosos do fogo.

Da lista anterior, o alarmismo climático abusa, em diferentes contextos, de diversas estratégias infalíveis para cooptar a atenção pública: choque e horror (“o fim da humanidade”); tragédia (eventos climáticos extremos); conflito (alarmistas *versus* céticos; aquecimento antropogênico *versus* natural); preocupação (caos e colapso climático); e dilema (deixar ou não de emitir gases de efeito estufa para evitar as mudanças climáticas?). No final das contas, o catastrofismo e a “hollywoodização” do clima só funcionam para criar confusão na mente do público.

Por fim, como um exemplar de uma típica “cartilha alarmista”, com enfoque no ativismo climático, selecionou-se o livreto de Morton (2020). Primeiro, é necessário reconhecer que, por um lado, tal documento apresenta um bom resumo de diversos tópicos interessantes, contendo inclusive referências a artigos

científicos. Contudo, por outro lado, o documento aborda temas bastante direcionados ao convencimento e mobilização, ensinando pontos-chaves sobre como ser eficiente na adoção e prática de estratégias alarmistas. Nesse intento, o autor elenca argumentos de convencimento, bem como estratégias que funcionam e o que não funcionam:

- “A Terra já está muito quente”;
- “O aquecimento atual não é seguro”;
- “Cientistas estão soando o alarme”;
- “Corremos o risco de colapso da civilização humana”;
- “Estamos ficando sem tempo para agir”;
- “A mensagem de emergência não está chegando ao público”;
- “Os fatos não são suficientes para levar as pessoas à ação”;
- “Mensagens de ‘alta ameaça de alta eficácia’ funcionam”;
- “Evoque raiva e coragem, não culpa e desamparo”;
- “Líderes e mensageiros confiáveis são persuasivos”;
- “Ative a empatia e apele para os valores”;
- “Use slogans de três palavras e mensagens fortes” etc.

De qualquer forma, o referido documento sintetiza bem o teor da estratégia alarmista sendo adotada de modo difundido nas diversas mídias existentes, sejam nos meios convencionais (rádio, TV, jornais, revistas etc.) e, especialmente, nas novas mídias sociais (*Twitter, Facebook, Whatsapp* etc.).

### I.2.5.3. Os papéis da ciência e da mídia<sup>408</sup>

Nos últimos três anos antes da pandemia da COVID-19, toda sociedade global se deparou com uma enxurrada de cobertura midiática sobre o *Furacão Dorian*<sup>409</sup> (ago/2019), a *Cúpula de Ação Climática da ONU*<sup>410</sup> (set/2019), protestos e *greves climáticas*<sup>411</sup> juvenis inspirados pela ativista sueca Greta Thunberg. Como resultado, a atenção da mídia em setembro de 2019 para a mudança climática e o aquecimento global atingiu seu nível mais alto globalmente em quase uma década; e a cobertura da mídia impressa dos EUA em particular estava em um ponto mais alto.

Dado que a maioria das pessoas (incluindo muitos tomadores de decisão) normalmente não começa o dia com uma xícara de café matinal e o último relatório do IPCC, a mídia de massa (incluindo televisão, jornais, rádio e mídia social) fornece ligações vitais entre a ciência e o público e política. As representações da mídia – de notícias a entretenimento – são elos críticos entre as realidades e experiências cotidianas das pessoas e as

<sup>408</sup> Baseado em Boykoff e Pearman (2019).

<sup>409</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Hurricane\\_Dorian](https://en.wikipedia.org/wiki/Hurricane_Dorian)

<sup>410</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/2019\\_UN\\_Climate\\_Action\\_Summit](https://en.wikipedia.org/wiki/2019_UN_Climate_Action_Summit)

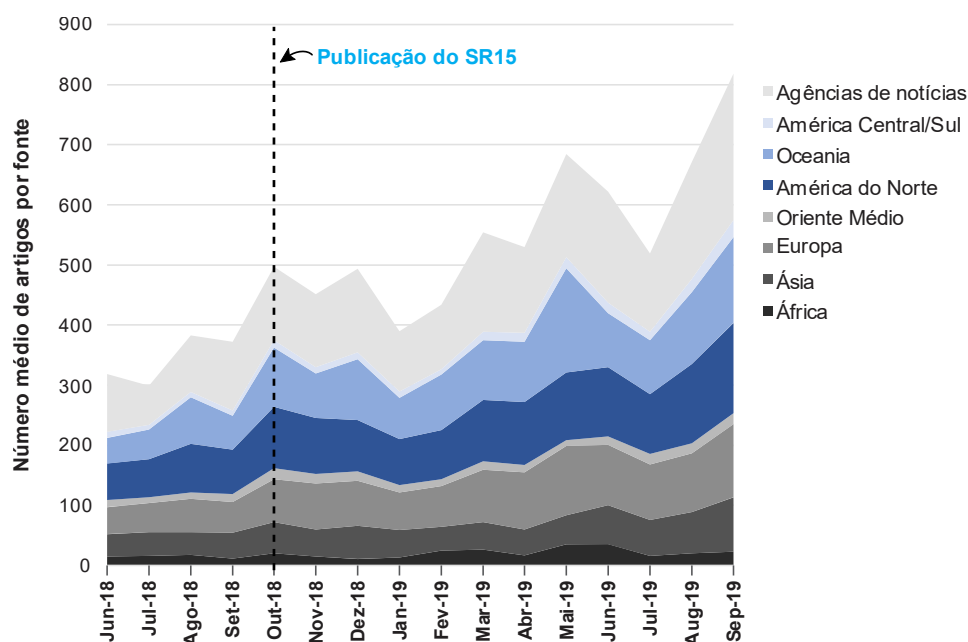
<sup>411</sup> Em mar/2019, estima-se que 1,6 milhão de estudantes de 125 países exigiram ações para combater as mudanças climáticas.

maneiras como são discutidas à distância entre ciência, política e atores públicos. Todos os dias, os cidadãos contam com as representações da mídia para ajudar a interpretar e dar sentido às muitas complexidades relacionadas à ciência do clima e às ações políticas. As mensagens da mídia são contribuições essenciais para o que se torna o discurso público sobre as questões climáticas de hoje.

Um marco importante para a retomada da temática climática na atenção midiática, com consequente evidência descomunal mundial, foi a publicação, em out/2018, de um relatório especial do IPCC<sup>412</sup> que ficou conhecido como “SR15”<sup>413</sup>. A cobertura da mídia sobre o SR15 contribuiu para um aumento geral de notícias que mencionam *mudanças climáticas* ou *aquecimento global* em 43% em todo o mundo em relação ao mês anterior (set/2018), conforme mostrado na **Figura 226**. Isso acompanha as tendências da mídia observadas em eventos anteriores relacionados ao clima, incluindo a *Conferência sobre Mudanças Climáticas de Copenhague*

(dez/2009) e as negociações do *Acordo de Paris*<sup>414</sup> (nov/2015), durante as quais a cobertura climática aumentou 40% e 43%, respectivamente, em comparação com a mês anterior. Depois de ambos os eventos (2009 e 2015), a cobertura da mídia sobre o clima caiu para os níveis anteriores em um ou dois meses, enquanto que, desde o SR15, a cobertura continuou a aumentar em geral. Isso sugere um impulso contínuo para as discussões públicas sobre a mudança climática por meio de retratos da mídia de massa.

Nos dias e semanas que se seguiram ao lançamento do relatório, os retratos da mídia interpretaram as principais descobertas e conclusões de várias maneiras. A maioria das histórias enfocava as consequências negativas da ação insuficiente. Além disso, muitos meios de comunicação relatavam explicitamente uma “*contagem regressiva*” para reduzir as emissões globais em 45% em relação aos níveis de 2010 até 2030, a fim de evitar ultrapassar o “abominável” limite de 1,5 °C de aquecimento global.



**Figura 226** – Cobertura mundial de jornais que publicaram sobre *mudança climática* ou *aquecimento global*, entre jun/2018 a set/2019, com base em 83 fontes, em 42 países, em 7 regiões diferentes de todo mundo, bem como em agências de notícias. Fonte: adaptado de Boykoff e Pearman (2019).

<sup>412</sup> <https://www.ipcc.ch/sr15/> – cujo título original em Inglês é traduzido como: “*Aquecimento global de 1,5 °C. Um Relatório Especial do IPCC sobre os impactos do aquecimento global de 1,5 °C acima dos níveis pré-industriais e caminhos de emissão de gases de efeito estufa globais relacionadas, no contexto de fortalecimento da resposta global à ameaça das mudanças climáticas, desenvolvimento sustentável e esforços para erradicar a pobreza*”. Entre as principais conclusões do relatório, estão: os riscos climáticos impostos aos sistemas naturais e humanos são consideravelmente maiores para um aumento de 2,0 °C da temperatura global do que

para o aquecimento de 1,5 °C acima dos níveis pré-industriais; e que o aquecimento global provavelmente atingirá 1,5 °C entre 2030 e 2052 nas taxas de emissões atuais.

<sup>413</sup> A sigla SR15 é oriunda do subtítulo do relatório: “*Special Report on (...) 1.5 °C (...)*” (Relatório Especial sobre o 1,5 °C).

<sup>414</sup> Sob o Acordo de Paris, os países são obrigados a manter os aumentos de temperatura global abaixo de 2 °C acima dos níveis pré-industriais, valor que os cientistas consideram como o limite máximo de segurança, mas com uma pretensão maior de limitar o aquecimento global em 1,5 °C.

Assim, a mídia noticiosa em todo o mundo passou a usar uma consistentemente linguagem caluniosa na cobertura do SR15. Em importantes veículos dos Estados Unidos e do Reino Unido, muitas notícias que coincidem com o lançamento do SR15 enfatizaram um “prazo” de 12 anos entre 2018 e 2030 e a urgência da ação necessária. Baseando-se em discursos em modos intelectuais, bem como com apelos emocionais e viscerais sobre esse desafio, os relatos da mídia estabeleceu um clichê do “prazo final” de 12 anos, que persistiu desde o lançamento do relatório e se propagou para as esferas políticas e para o recente ativismo climático.

Os relatórios do IPCC possuem uma linguagem excessivamente complexa para públicos não-científicos e, conseqüentemente, são de baixa legibilidade. Assim, é comum a perda de nuance quando suas principais descobertas são traduzidas pela mídia. Assim, as representações da mídia do SR15 resultou em muitas notícias que destilaram a complexidade do relatório em mensagens simplistas de “prazo final”. Os próprios autores dos relatórios do IPCC procuraram manter a nuance de suas descobertas. Por exemplo, o copresidente do relatório James Skea observou que o painel “não disse que temos 12 anos restantes para salvar o mundo. Quanto mais quente fica, pior fica, mas não há beira do precipício”. A coautora do relatório, Kristie Ebi, também acrescentou: “O relatório nunca disse que temos apenas 12 anos restantes. Este tem sido um ponto persistente de confusão”.

Deslizar para um discurso de “aviso final” de 12 anos corre o risco de paralisar as pessoas que podem pensar que é tarde demais para realizar qualquer ação significativa. Essas potencialmente perigosas noções de “prazos” surgiram nos últimos anos em parte contra um pano de fundo de “metas e cronogramas”, incluindo os “Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável” e seu conjunto de 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) globais, bem como a “Década (2021–2030) das Nações Unidas para a Restauração do Ecossistema”. A articulação de metas, objetivos e prazos climáticos tem a intenção de focar e motivar a ação desde a escala individual até a coletiva, mas tais metas podem ter conseqüências indesejadas. Por exemplo, a conferência “Mudança da Atmosfera”<sup>415</sup> da Organização Meteorológica Mundial de 1988, em Toronto, não conseguiu atingir a meta de redução de emissões de CO<sub>2</sub> de 20% até 2005, e a meta foi prorrogada. Mais recentemente, em 2017, a “Missão 2020”<sup>416</sup> foi

apresentada como um plano de seis objetivos para reduzir as emissões de CO<sub>2</sub>. Mas o ano de 2020 já passou, e a meta não foi atingida. “Prazos finais” – cujos finais sempre são postergados por conta do não cumprimento das metas inicialmente estabelecidas – apontam para o perigo de definir e potencialmente não cumprir prazos. Definir um prazo – embora talvez guiado pela ambição sincera – abre portas para a vulnerabilidade e a crítica, bem como contra-ataques políticos inadvertidos, quando não são cumpridos.

Em relação à ambição associada ao SR15, o abuso na linguagem de “prazo” foi associado com o ridículo. Críticos chegaram a dizer que “os pontos de inflexão climática têm uma longa história de repetição, prazos alterados e fracasso total”. Logo, nota-se que pode haver desvantagens adicionais para invocações excessivamente “catastróficas” e “aterrorizantes” na esfera pública.

As comunicações indutoras do medo produzem resultados complexos e até contraditórios em relação ao aumento da conscientização e movimentos de ação sobre a mudança climática. Em alguns casos, os apelos emocionais podem ser uma forma eficaz de atingir públicos tradicionalmente não receptivos, mas a comunicação baseada no medo sobre a mudança climática antropogênica também pode levar ao desinteresse. Além disso, imagens horrendas e baseadas no medo podem aumentar a conscientização, mas também podem levar as pessoas a se desengajar como resultado de se sentirem desamparadas e oprimidas, provocando negação não intencional ou apatia.

Essa tensão se reflete no contraste entre a comunicação científica e a mídia de massa. Enquanto os cientistas tendem a “errar pelo menor drama” ao se comunicarem sobre os impactos das mudanças climáticas, a mídia muitas vezes acolhe a comunicação sensacionalista e que induz ao medo para atrair maior público. Por exemplo, algumas das respostas mais críticas para o artigo<sup>417</sup> da Revista *New York* de 2017, que catalogou os piores cenários de impactos e futuros em um mundo em aquecimento, pesquisadores e profissionais expressaram forte descontentamento com os cenários indutores de medo no artigo; eles citaram os hiperbólicos “cenários do juízo final” e chamaram o artigo de “profundamente irresponsável”.

A mídia, lamentavelmente, com muita frequência simplifica a ciência, distorcendo-a. As manchetes sobre o relatório do IPCC de 2018 beiravam a distopia: “Um importante relatório sobre o clima descreve um forte

<sup>415</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Toronto\\_Conference\\_on\\_the\\_Changing\\_Atmosphere](https://en.wikipedia.org/wiki/Toronto_Conference_on_the_Changing_Atmosphere)

<sup>416</sup> <https://www.carbonbrief.org/mission-2020-new-global-strategy-rapidly-reduce-carbon-emissions>

<sup>417</sup> Conforme citado no “item I.2.5”, p. 34.

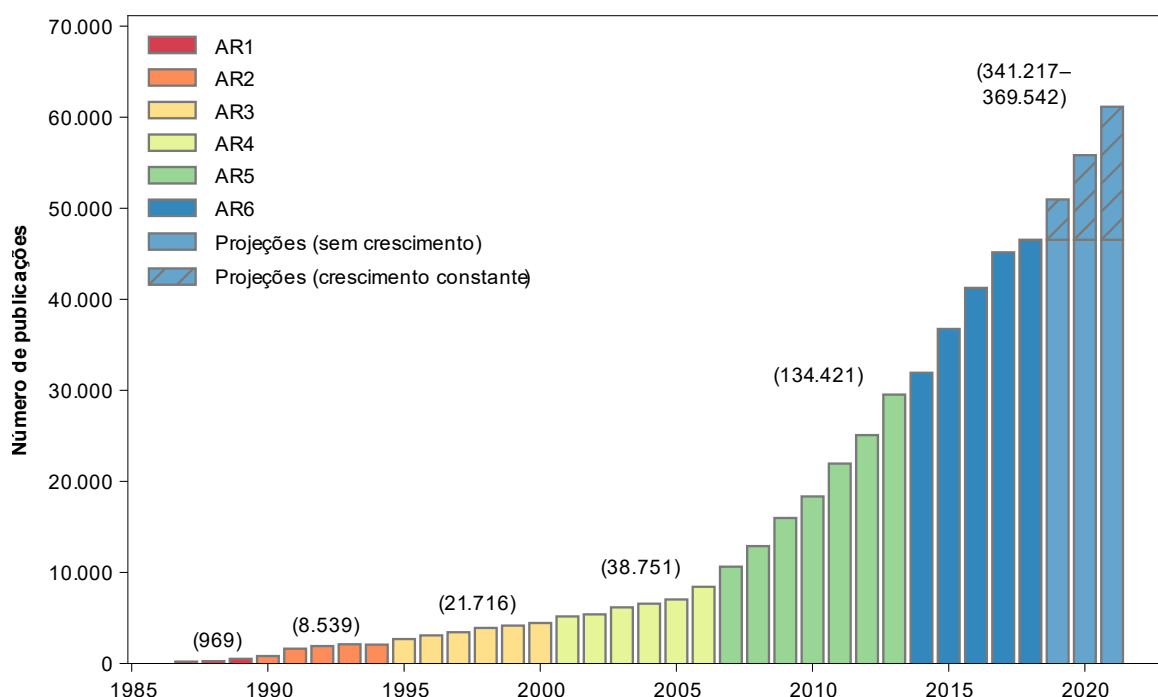
risco de crise já em 2040”, alertou o *New York Times*. “O mundo tem pouco mais de uma década para controlar a mudança climática, dizem os cientistas da ONU”, ecoou o *Washington Post*. “Temos 12 anos para limitar a catástrofe das mudanças climáticas”, profetizou o *The Guardian*. “O novo relatório climático da ONU diminui a esperança de evitar o aquecimento global catastrófico”, declarou *HuffPost*. “A ONU diz que o genocídio climático está chegando. Na verdade, é pior do que isso”, foi a manchete da revista *New York* (NISBET, 2019).

O SR15 provavelmente gerou um aumento na cobertura da mídia sobre as mudanças climáticas, aumentando a preocupação pública e também a pressão sobre os governos para que tomem medidas substantivas. Outras correntes políticas e científicas do clima na arena pública desde o lançamento do SR15 – debates sobre a proposta do “*Green New Deal*”<sup>418</sup> (Novo Acordo Verde), greves climáticas de jovens, ações da *Extinction Rebellion* – refletem como as representações da mídia podem ter uma influência sustentada no discurso público e na política que nenhum relatório do IPCC sozinho consegue. No entanto, as falhas da mediação midiática entre ciência e população possuem falhas sérias. Uma delas é que, em um ambiente de conflitos de interesses e inerente confusão de argumentações, as pessoas podem

não saber exatamente no que acreditar. Assim, muitos perdem a confiança na Ciência e no Jornalismo sobre a Ciência, e a complexidade do assunto se esvai. E se não for o desinteresse e o descaso, outro efeito colateral negativo é o aumento de ocorrências de doenças mentais como eco-ansiedade.

#### I.2.5.4. Níveis de produção científica

Vivemos em uma época do *big data* (“grandes dados”) e a ciência climática também enfrenta um fenômeno relacionado: *big literature* (“grande literatura”), na qual a ciência das mudanças climáticas está se expandindo exponencialmente. Nos 5 anos anteriores à publicação do último relatório de avaliação do IPCC em 2013, cerca de 200.000 artigos sobre mudanças climáticas haviam sido publicados **Figura 227**, conforme consulta ao banco de dados de citações da *Web of Science* (WoS). Isso é quase tanto quanto os 205.000 documentos identificados na mesma consulta durante os primeiros cinco períodos de avaliação combinados – que correspondem a um período de quase 30 anos. Cerca de 350.000 novas publicações podem ser esperadas antes do sexto Relatório de Avaliação (AR6) do IPCC, com base nos padrões de crescimento atuais. (CALLAGHAN; MINX; FORSTER, 2020).



**Figura 227** – Número de artigos sobre mudanças climáticas publicados na *Web of Science* a cada ano. O número de publicações em cada período de avaliação dos relatórios do IPCC é apresentado entre parênteses. Fonte: adaptado de Callaghan, Minx e Forster (2020).

<sup>418</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Green\\_New\\_Deal](https://en.wikipedia.org/wiki/Green_New_Deal)



### I.2.5.5. Níveis de divulgação midiática

Na cobertura de grandes eventos relacionados às mudanças climáticas, como os relatórios do IPCC, as Cúpulas ou Conferências das Partes das Nações Unidas, os jornalistas tendem a dramatizar sua importância, enfatizando os cenários futuros mais calamitosos de mudanças climáticas, enquadrando as descobertas dos relatórios científicos como riscos desastrosos e amedrontadores.

De acordo com um estudo (PAINTER, 2013), cerca de 80% da cobertura da mídia sobre mudanças climáticas e 90% da cobertura de relatórios do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas enquadraram o assunto em termos de desastre. Assim, os ciclos de notícias tendem a ser dominados pelo horror, massacre e carnificina – uma receita para a depressão que se espalha na cobertura das mudanças climáticas, alimentando o que alguns especialistas chamam de “lacuna de esperança” que pode levar as pessoas a se preocuparem com o aquecimento global, mas se sentirem impotentes para fazer qualquer coisa a respeito.

Realizar o monitoramento e análise da imensa produção de informação nos dias atuais é uma tarefa hercúlea. No campo cada vez mais crescente da *Ciências da Informação e da Comunicação*, tecnologias de rastreamento da produção jornalística e midiática são pontuais e bastante limitadas. Conforme citado no item I.2.3.4, as ferramentas do *Google Trends* e *Google Ngram* permitem visualizar, respectivamente, a evolução do nível de interesse relacionado às buscas realizadas nas pesquisas do *Google*; e a frequência de termos publicados em livros.

Por sorte, diante da atual evidência e relevância atribuídas à temática climática, hoje existe facilmente acessível o *Observatório de Mídia e Mudanças Climáticas*<sup>419</sup> (*MeCCO*, sigla do Inglês), um site apresenta o resultado do monitoramento da cobertura da mídia sobre *mudança climática* ou *aquecimento global* em 120 fontes (em jornais, rádio e TV), em 11 línguas, em 54 países, em 7 regiões diferentes ao redor do mundo, incluindo, no caso do Brasil, os jornais *Folha de São Paulo* e *O Globo*.

Com base em gráficos disponíveis no site do Observatório *MeCCO*, elaborou-se a **Figura 228**, na estão contidos 4 gráficos, com a evolução (2004 a fev/2021) da produção de conteúdos relacionados às mudanças climáticas, conforme diferentes mídias: **(A)** quantidade de artigos em jornais; **(B)** quantidade de artigos em agências de notícias; **(C)** quantidade de

notícias de rádio; e **(D)** quantidade de notícias de TV. Na parte inferior da figura, consta a indicação de alguns eventos marcantes. Na figura **(D)**, foi acrescentada uma curva azul (*Relatório do IPCC*), com um trecho correspondente à curva azul contida na **Figura 224**.

De modo geral, nota-se que a diversificada cobertura midiática tradicional acompanha as publicações dos Relatórios do IPCC. Além deles, picos notáveis são observados em nov/2009 e nov/2015, referentes, respectivamente, ao *Climategate*<sup>420</sup> e ao *Acordo de Paris*. Os dados aqui apresentados são condizentes com toda análise já conduzida anteriormente<sup>421</sup>, na qual foram utilizados dados do *Google Trends*. O conjunto total dos gráficos permite inferir que a cobertura midiática tem mantido um ritmo de elevada atividade de publicações. Com exceção do maior pico próximo a 2010, a média de notícias e artigos publicados recentemente, de 2018 a 2020 estava em patamares equivalentes ao período de intenso debate e visibilidade ocorrida entre 2006 e 2008.

O efeito da pandemia da COVID-19, ao longo do ano de 2020, foi perceptível na redução de todas as curvas da **Figura 228**, em virtude da competição de notícias que começaram a ser direcionadas ao tema ainda hoje em evidência, o maior problema epidemiológico nos últimos 100 anos. Ainda que a pandemia em curso não esteja ainda completamente resolvida, percebe-se que, a partir de 2021, houve em todos os meios considerados, uma retomada considerável na quantidade de notícias/artigos relacionados às mudanças climáticas.

### I.2.5.6. Popularização de palavras e termos

Conforme será demonstrado na **Figura 231** adiante (no item I.2.6.1, p. 523), até o ano de 2010, “aquecimento global” era o termo preferido pela mídia em geral. A partir de 2015, “mudanças climáticas” assumiram o posto na preferência. Todavia, desde 2017, percebe-se um expressivo aumento na criatividade na mídia, cuja estratégia atual do alarmismo climático é abusar na associação do clima com adjetivos que remetem, basicamente, à tragédia. Normalmente, a fórmula usada é a seguinte: “X + *climática*” (em inglês é o oposto: “*climate* + X”, sendo X a variável substituída por uma palavra trágica ou com algum teor negativo. Assim, a variável X assume diferentes e variadas palavras como: crise, colapso, caos, catástrofe, calamidade, cataclismo, conflito, confusão. Não se sabe dizer se é algo pensado propositalmente, se é algum tipo de estratégia de *marketing*, ou uma pura e simples coincidência – nota-se

<sup>419</sup> <http://sciencepolicy.colorado.edu/icecaps/>

<sup>420</sup> Conforme explicado detalhadamente em Oliveira, Carneiro e Vecchia (2017).

<sup>421</sup> Idem nota de rodapé anterior.

que essas difundidas retrocitadas palavras possuem em comum a primeira letra (“c”). Contudo, os adjetivos que assumem o lugar da variável *X* não se restringem somente a essas supracitadas palavras. A mídia costuma, ainda, utilizar mais termos no extenso e estarrecedor repertório: tragédia, emergência, desastre, alarme, extermínio, apocalipse, armagedon, hecatombe, genocídio, desgraça, adversidade, decadência, massacre, pesadelo, declínio, abismo, desmoronamento, estrago, suicídio, devastação, ruptura, derrocada, pane, falha, destruição, ruína, entre outras palavras de uma lista que parece não ter fim.

As palavras de um variado, criativo e macabro vocabulário possuem em comum um resultado, que é despertar sentimentos negativos também bastante diversificados: medo, desespero, ansiedade, aflição, angústia, euforia, pânico, resignação, decepção, remorso, impotência, desesperança, tristeza, culpa, fatalismo, letargia, apatia, indiferença, desamparo. Todos esses sentimentos podem repercutir seriamente na saúde mental das pessoas, conforme será detalhado adiante.

É possível tentar rastrear um pouco sobre o contexto histórico do surgimento da popularização e amplo emprego dessas palavras na mídia popular. Para tal, uma primeira estratégia se mostra bem eficiente para esse intento. Uma ferramenta do dicionário de Oxford divulga, desde 2004, “a palavra do ano”<sup>422</sup>. A equipe de linguistas de Oxford analisa e escolhe uma palavra ou expressão que atraiu muito interesse público nos 12 meses anteriores. Após um debate entre os especialistas, a palavra vencedora é aquela considerada por refletir o *ethos*<sup>423</sup>, humor ou preocupações daquele ano específico e por ter um potencial duradouro como uma palavra de significado cultural.

Em 2017, a palavra Oxford campeã foi *youthquake*<sup>424</sup> (um neologismo baseado no padrão de *earthquake*, terremoto em inglês). Traduzida literalmente como “terremoto juvenil”, *youthquake* é definida como “uma mudança cultural, política ou social significativa decorrente das ações ou influência dos jovens”. Essa palavra traduzia a sensação do momento sobre o aumento do envolvimento dos jovens na política no Reino Unido. Assim, o ano de 2017 já indicava a preparação do terreno para a germinação e florescimento do ativismo juvenil ambiental/climático, a exemplo do *Extinction Rebellion*

(surgido em 2018) e pela aparição da ativista Greta Thunberg em 2019.

Em 2018, a Oxford escolheu a palavra *toxic*<sup>425</sup> (do inglês, “tóxico”), em virtude do uso dela em diferentes expressões literais e metafóricas. Destaca-se que, dentre os contextos analisados, a palavra tóxica foi associada a diversos termos ambientais: químico tóxico, substância tóxica, gás tóxico, ambiente tóxico, algas tóxicas e ar tóxico. A popularidade dessas expressões corrobora o aumento da preocupação das pessoas quanto ao meio ambiente.

Por fim, a palavra escolhida em 2019 pela Oxford foi *climate emergency*<sup>426</sup> (do inglês, “emergência climática”), definida como “uma situação em que uma ação urgente é necessária para reduzir ou interromper as mudanças climáticas e evitar danos ambientais potencialmente irreversíveis resultantes delas”. Segundo Oxford, o aumento da preocupação pública sobre o clima e as inúmeras implicações para as comunidades em todo o mundo gerou uma enorme discussão sobre o que o Secretário-Geral da ONU chamou de “a questão definidora de nosso tempo”. Mas não foi somente esse aumento que chamou a atenção dos pesquisadores. A pesquisa revelou uma escalada demonstrável na linguagem que as pessoas estavam passando a usar para articular informações e ideias sobre o clima. A análise dos dados de linguagem coletados no Oxford mostrou o rápido aumento da *emergência climática*, que partiu de uma relativa obscuridade para se tornar um dos mais proeminentes e debatidos termos de 2019. O uso do termo aumentou drasticamente até patamares cerca de 100 vezes mais popular em relação ao ano anterior. Ao lado de *emergência climática*, como as palavras mais comumente usadas no contexto climático em 2019, os termos *crise climática* e *ação climática* também foram incluídos na lista de palavras-chave do ano de 2019. Todas essas palavras excederam pares mais moderados ou especulativos, como *variabilidade climática* e *previsão do clima*, e conexões esperadas como *cientista do clima*, os quais dominaram a série de dados por mais de 10 anos. Esses dados são significativos, visto que indicam uma mudança crescente na escolha da linguagem das pessoas em 2019, uma intensificação que desafia e reformula a discussão da “questão definidora de nosso tempo” despertando um senso de nova gravidade e maior imediatismo.

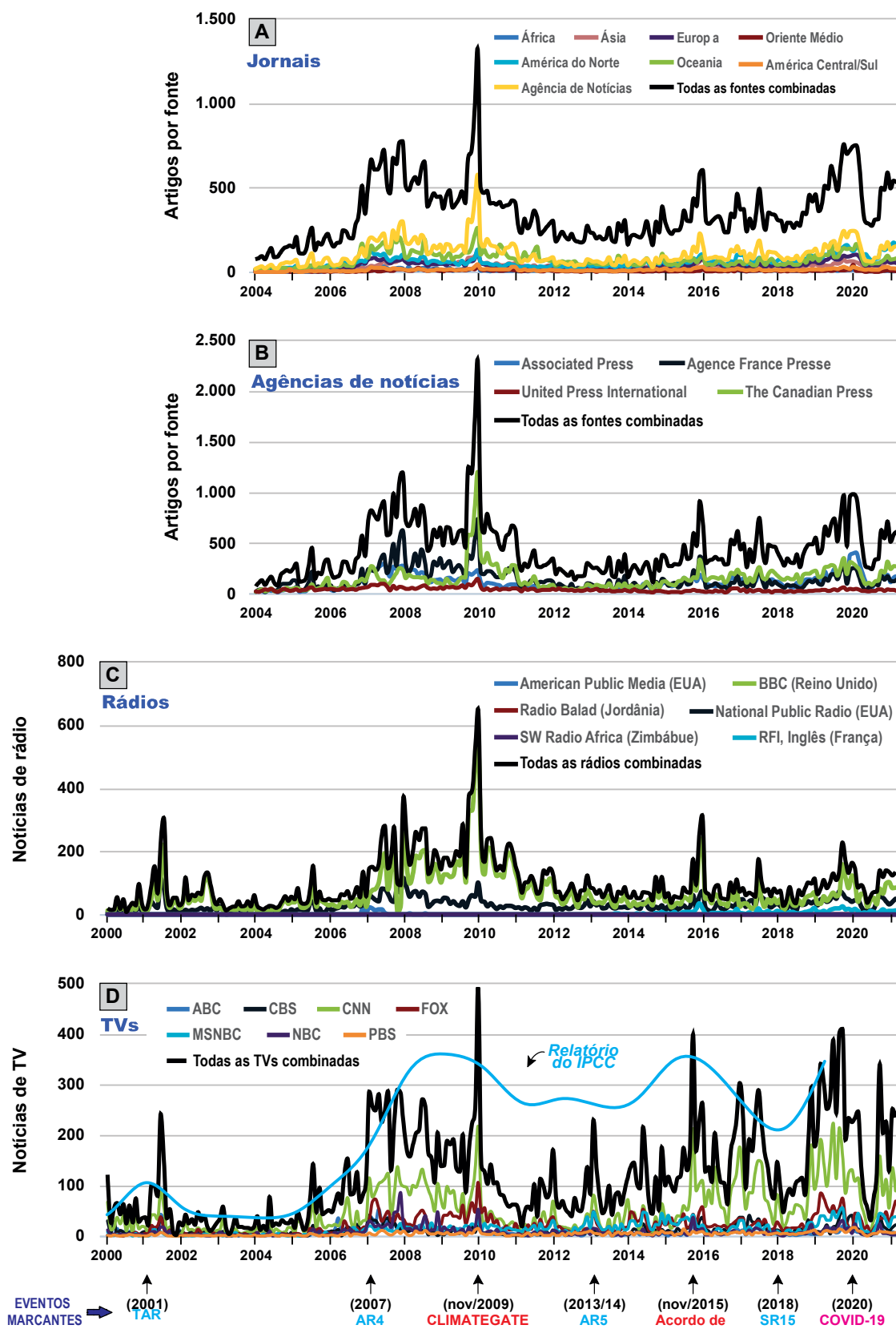
<sup>422</sup> <https://languages.oup.com/word-of-the-year/>

<sup>423</sup> *Ethos*, palavra grega que significa “hábito, costume”, é usada para descrever as crenças ou ideais que caracterizam uma comunidade, nação ou ideologia.

<sup>424</sup> <https://languages.oup.com/word-of-the-year/2017/>

<sup>425</sup> <https://languages.oup.com/word-of-the-year/2018/>

<sup>426</sup> <https://languages.oup.com/word-of-the-year/2019/>



**Figura 228** – Evolução (2004 a fev/2021) da produção de conteúdos relacionados às mudanças climáticas, conforme diferentes mídias: **(A)** Quantidade de artigos em jornais; **(B)** Quantidade de artigos em agências de notícias; **(C)** Quantidade de notícias de rádio; e **(D)** Quantidade de notícias de TV. Na parte inferior da figura, consta a indicação de alguns eventos marcantes. Na figura (D) foi acrescentada uma curva azul (*Relatório do IPCC*), em escala adimensional, com um trecho correspondente à curva azul contida na **Figura 224**. Fonte: elaborado com base em Boykoff et al. (2021a, 2021b, 2021c, 2021d).

Em 2019, pessoas em todo o mundo estavam falando e escrevendo sobre o estado do clima, as implicações da ciência climática atual e soluções propostas para evitar desastres ecológicos. A análise dos dados linguísticos registrados no corpus da Oxford mostra como essa preocupação global permeou diferentes domínios, unindo questões-chave da agricultura à saúde mental, das viagens aéreas às campanhas legais, sob a égide do grande debate climático. A *emergência climática* pode liderar o grupo dos termos, mas em 2019, a lista de finalistas da “Palavra do Ano” reflete a proeminência da linguagem relacionada ao clima documentada no corpus da Oxford. Além da *emergência climática*, outras palavras relacionadas ao clima também tiveram uma efervescência significativa: *ação climática*, *crise climática*, *negação do clima*, *eco-ansiedade*, *ecocídio*, *extinção*, *vergonha de voar* e *esquentamento global*. Segundo a Oxford (2019), seguem as definições dessas palavras:

- **Ação climática:** são ações tomadas por um indivíduo, organização ou governo para reduzir ou neutralizar a emissão de dióxido de carbono e outros gases de efeito estufa, a fim de limitar o efeito do aquecimento global no clima da Terra;
- **Crise climática:** uma situação caracterizada pela ameaça de mudanças altamente perigosas e irreversíveis no clima global;
- **Negação do clima:** a rejeição da proposição de que as mudanças climáticas causadas pela atividade humana estão ocorrendo ou que constituem uma ameaça significativa ao bem-estar humano e à civilização;
- **Eco-ansiedade:** preocupação extrema com os danos atuais e futuros ao meio ambiente causados pela atividade humana e mudanças climáticas;
- **Ecocídio:** destruição do ambiente natural por ação humana deliberada ou negligente;
- **Extinção:** o fato ou processo de uma espécie, família ou outro grupo de animais ou plantas se extinguir;
- **“Vergonha de voar”<sup>427</sup>:** relutância em viajar de avião, ou desconforto em fazê-lo, devido à emissão prejudicial de gases de efeito estufa e outros poluentes pelas aeronaves;
- **“Esquentamento global”<sup>428</sup>:** um termo adotado no lugar de “aquecimento global” para transmitir a seriedade das mudanças no clima causadas pela atividade humana e a necessidade urgente de abordá-la; e
- **“Balanço líquido zero” (Net-zero):** uma meta de zerar completamente a quantidade de gases de efeito estufa produzidos pela atividade humana, a ser alcançada através da redução de emissões, bem como pela implementação de métodos de absorção de dióxido de carbono da atmosfera.

Na **Figura 229**, observa-se a evolução temporal das frequências das supracitadas palavras selecionadas pela Oxford em 2019, nos correspondentes gráficos:

- **Gráfico (A):** o uso da frase *emergência climática* aumentou drasticamente ao longo de 2019 e, em setembro, foi mais de 100 vezes mais comum do que no ano anterior;
- **Gráfico (B):** aumento de 266% no uso termo *ações climáticas* em relação ao ano anterior, refletindo demandas por ativistas em manifestações climáticas ao redor do mundo e cobertura da mídia da reunião de líderes mundiais para a Cúpula de Ação Climática da ONU em Nova York;
- **Gráfico (C):** assim como a emergência climática, a *crise climática* é cada vez mais usada como um termo preferido para as mudanças climáticas na ciência do clima e nos relatórios da mídia, resultando em um aumento de 26 vezes no uso em 2019;
- **Gráfico (D):** aumento de 153% no uso de *negação do clima* em 2019, refletindo o debate sobre os relatórios da ciência do clima e as principais reações de figuras políticas a eles, demonstrando uma tendência atual de denominar *negadores do clima* em vez de *céticos do clima*. O ápice de nov/2018 coincide com a cobertura da mídia sobre declaração do presidente dos EUA à época, Donald Trump, que criticou um relatório climático de seu próprio governo;
- **Gráfico (E):** aumento de 4.290% no uso da *eco-ansiedade*, mostrando um discurso crescente, principalmente entre os jovens, em torno do impacto na saúde mental da emergência climática que dominou as manchetes em 2019. Nota-se que o aumento desse termo possui uma certa defasagem em relação aos demais. Ou seja, primeiro explodiu a quantidade das palavras alarmistas (emergência climática, crise climática, extinção, esquentamento global etc.), para só depois surgir o “efeito rebote” na saúde mental das pessoas, assustadas pelo exagero nos termos chocantes;
- **Gráfico (F):** em meio ao aumento da atenção do público à emergência climática e aos apelos à ação, a palavra *ecocídio* teve um aumento de 680% na frequência de uso em 2019. O termo está no centro de uma campanha legal para transformar sérios danos ao meio ambiente em um crime de atrocidade no Tribunal Penal Internacional, colocando-o em pé de igualdade com genocídio, crimes de guerra e crimes contra a humanidade. Tal movimento tornaria funcionários do governo e líderes empresariais individual e criminalmente responsáveis por ações que prejudicam o planeta de maneira consciente ou negligenciável. O pico indica o aumento da cobertura após a morte de Polly Higgins, uma advogada britânica e figura principal da campanha para que o ecocídio seja reconhecido como um crime, ao invés de um crime civil;
- **Gráfico (G):** a *extinção* teve um aumento de 681% no uso em 2019, sendo o pico em abril correspondente ao lançamento do *Extinction Rebellion*, o movimento internacional que usa táticas de desobediência civil para gerar consciência pública e garantir mudanças políticas para combater o colapso ambiental;
- **Gráfico (H):** a *vergonha de voar* apresentou um aumento de 182% no uso. A crescente atenção às “pegadas de carbono” dos indivíduos tem visto pessoas trocando viagens aéreas com alto teor de emissões de carbono por outras formas mais ecológicas de transporte, e a introdução de recomendações para um “imposto de passageiro frequente” para conter a demanda cada vez maior por viagens aéreas. Por conta disso, a ativista climática Greta Thunberg, fez uma viagem transatlântica de duas semanas, do Reino Unido para chegar em Nova York, para participar da Cúpula de Ação Climática da ONU;
- **Gráfico (I):** os dados mostram uma ampla difusão da nova terminologia *esquentamento global*, apresentando um aumento de uso de 18.358% em 2019 em relação ao ano anterior;
- **Gráfico (J):** em jun/2019, o Reino Unido se tornou a primeira grande economia a aprovar uma lei de *balanço líquido zero*. O debate sobre qual ação a ser tomada contribuiu para um aumento de 992% no uso do período em 2019.

<sup>427</sup> Conforme explicado na nota de rodapé n. 346.

<sup>428</sup> O aumento desse termo deve ser reflexo da opinião do Prof. Richard Betts, líder de pesquisa climática do *Met Office* (Reino Unido), que chegou sugerir que, para descrever as mudanças que estão ocorrendo no clima mundial, o termo “esquentamento global” (*global heating*; em Inglês) era um termo mais preciso do que “aquecimento global” (*global warming*; em Inglês). Ele afirma que “o *esquentamento global* é tecnicamente mais correto porque estamos falando sobre mudanças no balanço energético do planeta”. Por fim, completa: “Deveríamos estar falando sobre risco, em vez de incerteza. (...) o aumento da temperatura da Terra ultrapassou a zona de conforto e agora ameaça a humanidade e vida no Planeta” (WATTS, 2018). Sobre essa ocasião, cabe tecer alguns breves comentários: parece que as palavras inglesas *warming* e

*heating* representam graus diferentes de intensidade, sendo que *warmings* seria um tipo de aquecimento mais brando, gradual (tipo um “banho-maria”, técnica de cozimento), e *heating* seria um tipo e aquecimento mais forte, com algum calor adicional, mais intenso. Portanto, a tradução em Português para *heating* (“esquentamento”) talvez não transpasse o mesmo sentido de diferenciação existente nas palavras em inglês. No Brasil, essa tradução chegou a render uma discussão informal em rede social (<https://twitter.com/brumelianebrum/status/1130419729007554560>), onde alguns participantes chegaram a propor definições variadas para *global heating*, como: “fervura global”, “ebulição global”, “incineração global”, “combustão global”, “escaldamento global”, “derretimento global” e “superaquecimento global”.

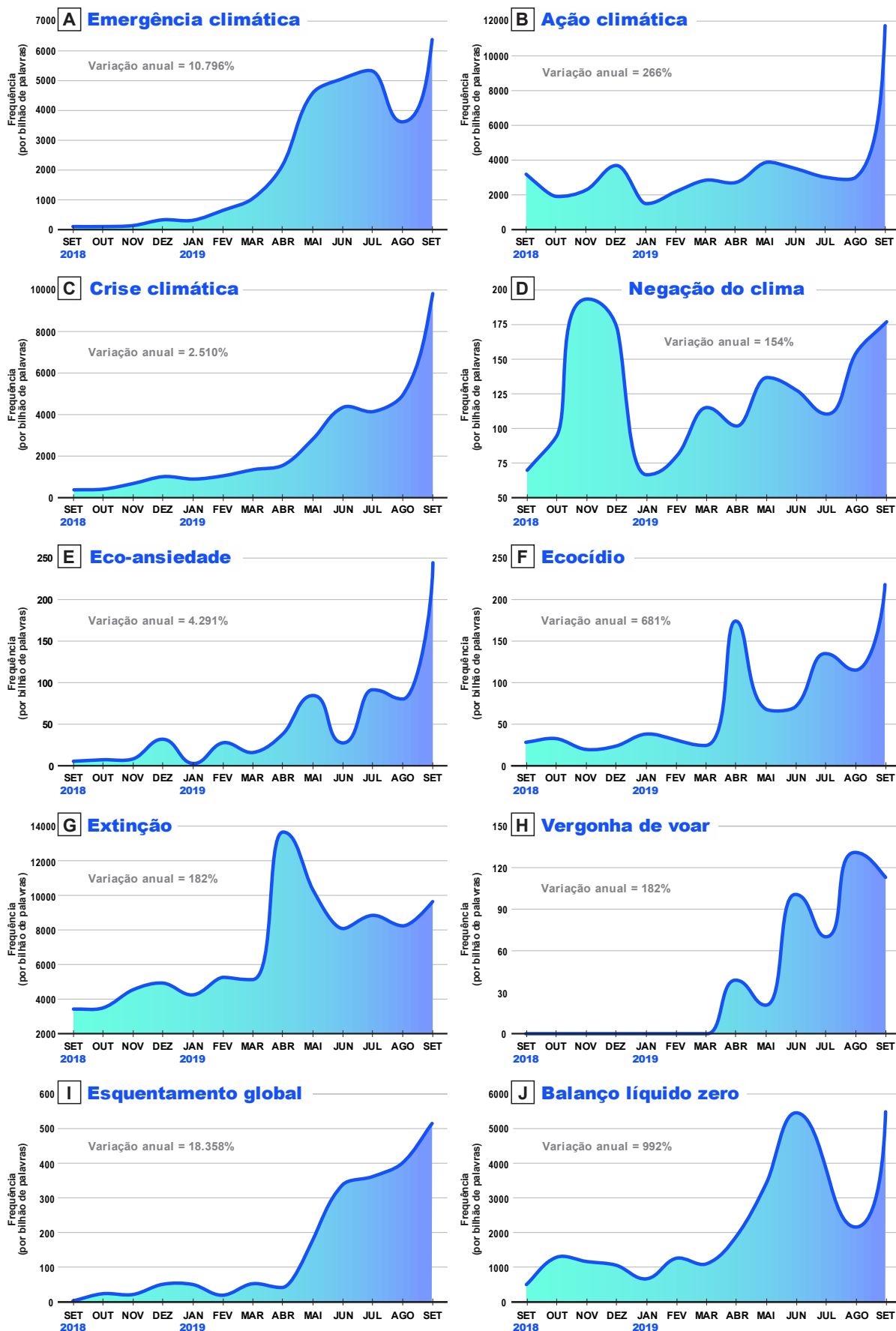


Figura 229 – Evolução temporal das frequências de palavras associadas à palavra *emergência climática*, selecionada como “a palavra do ano de 2019” pela Oxford. Fonte: modificado de Oxford (2019).

Por fim, uma última análise sobre os termos *emergência climática*, *crise climática* e *colapso climático*, em associação com a palavra *eco-ansiedade*, é apresentada na **Figura 230**: no gráfico (A), estão representadas os dados retirados do *Google Ngram*, relativos ao período de 1980 a 2019; e, no gráfico (B), estão os dados retirados do *Google Trends*, referentes ao período entre 1980 e fev/2021. Pela análise conjunta de ambos os gráficos, percebe-se que houve um grande pico da curva vermelha (*crise climática*) entre 2007 a 2009, o que coincide com o início e manutenção de um patamar da curva preta (*eco-ansiedade*). Entre 2017-2018, nota-se um rápido crescimento das curvas vermelha, verde e preta (*crise climática*, *emergência climática* e *eco-ansiedade*). A curva azul (*colapso climático*) apresentou um aumento gradual desde 2005, mas em um ritmo significativamente menor que as demais curvas. Dados do *Google Trends* (gráfico B) após 2019 indicam a queda em todas as curvas, em virtude da pandemia da COVID-19. No contexto geral, pode-se inferir que, mesmo com o grande pico da *crise climática* em 2007-2009, a *eco-ansiedade* não havia apresentado níveis tão altos quanto ao observado no período recente (2018-2020). Em tal recente período, a espantosa evidência do termo *emergência climática* coincide justamente com grande pico da *eco-ansiedade*, cujas repercussões psicológicas atingiram preponderantemente os jovens. Portanto, fica evidenciado que a nova onda da *eco-ansiedade* nos últimos 3 anos pode ser atribuída ao uso descomunal do termo *emergência climática*.

### 1.2.5.7. Discursos midiáticos<sup>429</sup>

Como o artigo (WALLACE-WELLS, 2017) mais lido na história da Revista New York, intitulado “A Terra Inabitável”, ele pode ser assumido como um exemplar representativo do discurso trágico adotado pela mídia quanto às mudanças climáticas, motivo pelo qual foi alvo de diversas críticas<sup>430</sup>. Abordando tópicos como “apocalipse”, “morte pelo calor”, “o fim da comida”, “pragas climáticas”, “ar não respirável”, “guerra perpétua”, “colapso econômico permanente”, “oceanos envenenados”, destaca-se alguns dos trechos iniciais do referido artigo:

É, eu juro, **pior do que você pensa**. Se sua ansiedade sobre o aquecimento global é dominada pelo medo do aumento do nível do mar, você mal está arranhando a superfície dos terrores possíveis (...). E, no entanto, o aumento dos mares – e as cidades que eles vão se afogar – dominaram tanto o quadro do aquecimento global, e sobrecarregaram tanto nossa capacidade de **pânico climático**, que obstruíram nossa percepção de outras ameaças, muitas bem mais próximas. O aumento dos oceanos é ruim, na verdade muito ruim; mas fugir da costa não será suficiente.

(...)

Na verdade, na ausência de um ajuste significativo na forma como bilhões de humanos conduzem suas vidas, *partes da Terra* provavelmente se tornarão **inabitáveis**, e outras partes **terrivelmente inóspitas**, já no final deste século.

(...)

Mas não importa o quão bem informado você esteja, certamente **não está alarmado o suficiente**. Nas últimas décadas, nossa cultura tornou-se apocalíptica com filmes de zumbis e distopias do estilo *Mad Max*, talvez como resultado coletivo da **ansiedade climática** deslocada; e ainda quando se trata de contemplar os **perigos do aquecimento do mundo real**, sofremos de uma incrível falta de imaginação. [WALLACE-WELLS, 2017, não paginado (*online*); tradução nossa; grifos nossos].

A partir de outra reportagem alarmista, o artigo de Ripple et al. (2021) publicado na *Scientific American*, são destacadas as mensagens dramáticas:

A emergência climática chegou e está se acelerando mais rapidamente do que a maioria dos cientistas previu, e muitos deles estão profundamente preocupados. Os efeitos adversos das mudanças climáticas são muito mais graves do que o esperado e agora ameaçam a biosfera e a humanidade. Há cada vez mais evidências ligando aumentos na frequência e intensidade do clima extremo às mudanças climáticas.

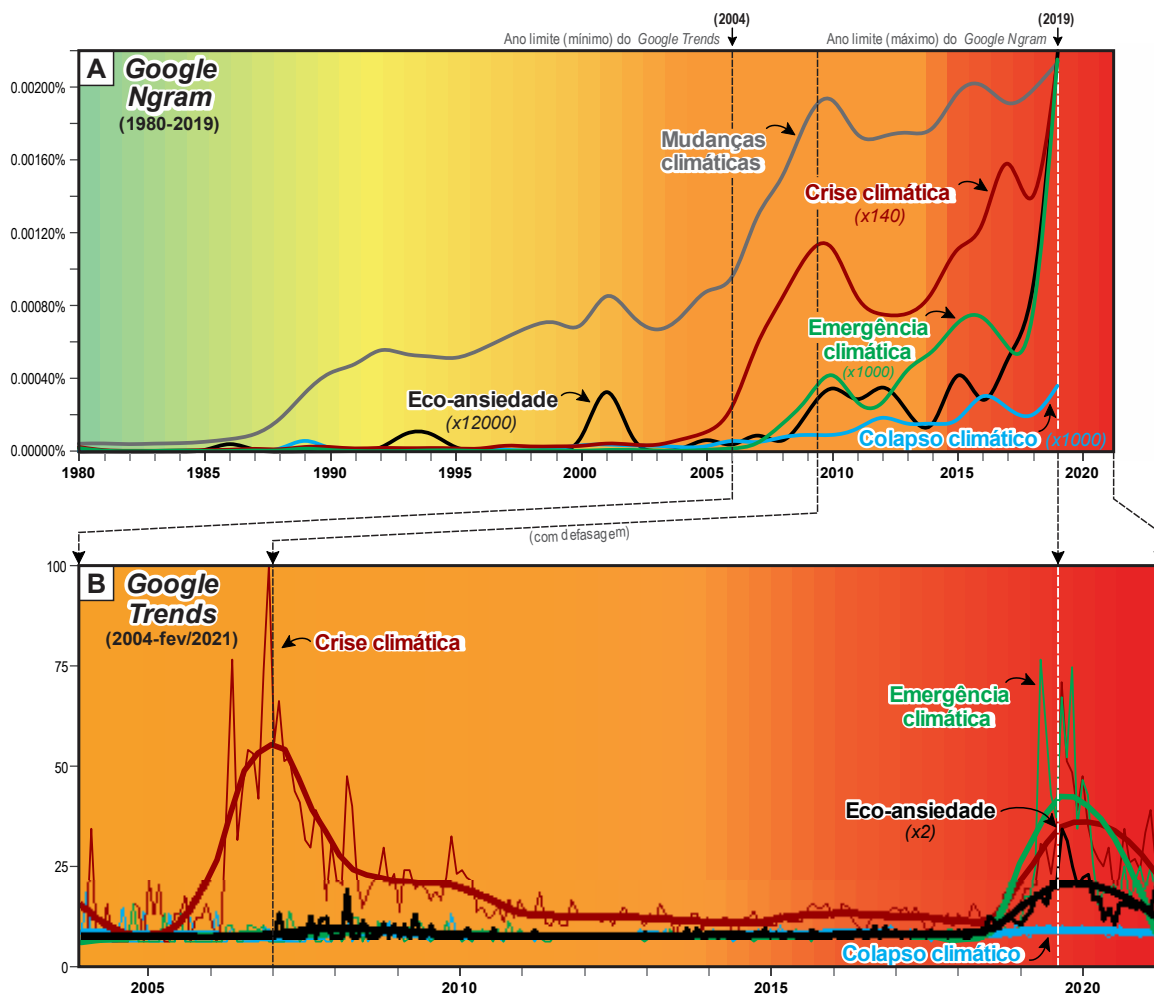
(...)

Todos os esforços devem ser feitos para reduzir as emissões e aumentar as remoções de carbono atmosférico, a fim de restaurar o derretimento do Ártico e encerrar o ciclo mortal de danos que o clima atual está causando. Os cientistas agora descobrem que a mudança climática catastrófica pode tornar uma parte significativa da Terra inabitável, em consequência de altas emissões contínuas, ciclos de feedback climático autorreforçados e pontos de inflexão iminentes [RIPPLE et al., 2021, não paginado (*online*); tradução nossa; grifos nossos]

<sup>429</sup> Com o uso de linguagem alarmista e exagerada, o discurso do medo sobre o clima futuro criou na população uma imaginação apocalíptica dos impactos catastróficos das alterações. Dörries (2010) elenca as semânticas atuais do medo da mudança climática, que incluem analogias com a guerra (“bomba-relógio ecológica”, “guerra contra o aquecimento global”), avisos da iminência da catástrofe (“ponto crítico”, “ponto de ebulição”) e cenários terríveis, além de representações visuais onipresentes. Como exemplo no Brasil, destaca-se a capa da Revista Veja da edição 1961 (21/jun/2006), na qual, em destaque, se lê: “Aquecimento global - Os sinais do

Apocalipse: o degelo dos polos nunca foi tão violento; ciclones agora açoitam o Brasil; os desertos avançam rapidamente; e o nível dos oceanos ameaça cidades”. Ao fundo do texto, uma foto (de um mar imenso e de um urso polar em cima de um pequeno pedaço de gelo) com a seguinte legenda: “Urso-polar: o primeiro a ver seu mundo se dissolver”.

<sup>430</sup> Cf. item “1.2.5. DISPARADORES DO ALARME CLIMÁTICO” (p. 35).



**Figura 230 – (A)** Evolução (1980-2019) da importância relativa de diferentes termos (conforme publicação de livros no Google Ngram): “mudanças climáticas”, “crise climática”, “emergência climática”, “colapso climático” e “eco-ansiedade”<sup>431</sup>. No eixo vertical, encontra-se a porcentagem de ocorrências (frequência) dos termos em relação ao corpus total. **(B)** Evolução (2004-fev/2021) da importância relativa de diferentes termos (conforme buscas registradas no Google Trends): “crise climática”, “emergência climática”, “colapso climático” e “eco-ansiedade”. No eixo vertical, encontra-se a frequência relativa dos termos buscados em relação ao termo que apresentou o maior valor (“crise climática”, cujo valor máximo = 100). Fonte: elaboração própria, com base em consultas realizadas no Google Ngram<sup>432</sup> [Gráfico (A)] e no Google Trends<sup>433</sup> [Gráfico (B)].

Aqui não cabe fazer uma extensa revisão de artigos alarmistas, pois, com uma produção diária média de 500 artigos jornalísticos publicados em todo mundo<sup>434</sup>, é impraticável obter uma análise completa, ou até mesmo uma análise amostral representativa. No entanto, é possível indicar uma linha de conduta editorial que tem sido

amplamente incentivada e seguida por grandes meios de comunicação: em mai/2019, o jornal *The Guardian* consolidou, por meio de uma orientação pública (CARRINGTON, 2019), a preferência midiática no uso de alguns termos climáticos mais agressivos. Em seu “Guia de Estilo Oficial”<sup>435</sup>, declararam o seguinte:

<sup>431</sup> Sobre os valores indicados em parênteses após alguns termos, ver explicação conforme nota de rodapé n. 396.

<sup>432</sup> Parâmetros da pesquisa: termos pesquisados = (*climate change*+ *Climate Change*+ *Climate change*+ *CLIMATE CHANGE*), (*climate crisis*\*140), (*climate emergency*\*1000), (*climate collapse*\*1000), (*ecoanxiety*\*12000), Período = 1980-2019; Corpus = English (2019); Suavização (*smoothing*) = 0.

<sup>433</sup> Parâmetros da pesquisa: termos pesquisados = “*climate crisis*”, “*climate emergency*”, “*climate collapse*”, “*eco-anxiety*”; Período = 2004-fev/2021; Abrangência = Mundo todo; Categoria = Todas; Base de dados = Buscas na Internet. Para obtenção da curva suavizada, utilizou-se a lógica do seguinte *script* (no programa *RStudio*):

```
library(gtrendsR); library(ggplot2); dados_MUNDO <- gtrends(c("climate crisis","climate emergency","climate collapse","eco-anxiety"), onlyInterest=TRUE, time="all"); plot(dados_MUNDO) + stat_smooth(span = 0.2).
```

<sup>434</sup> Cf. indicado na Figura 228, gráfico (A), p. 501.

<sup>435</sup> <https://www.theguardian.com/guardian-observer-style-guide-c>

[o termo] **mudanças climáticas** não é mais considerado que reflete com precisão a seriedade da situação geral; use **emergência climática** ou **crise climática** para descrever o impacto mais amplo da mudança climática. No entanto, use o **colapso climático** ou as **mudanças climáticas** ou o **aquecimento global** ao descrevê-lo especificamente em um sentido científico ou geofísico, por exemplo, “Os cientistas dizem que o colapso do clima levou a um aumento na intensidade dos furacões” [CARRINGTON, 2019, não paginado (*online*); tradução nossa; grifos nossos]

Segundo a editora-chefe do jornal, Katharine Viner, a “*mudança climática* é um termo muito passivo e gentil, enquanto que os cientistas estão falando que é uma catástrofe para a humanidade”. Ainda, alega a editora que “cada vez mais, cientistas e organizações do clima, da ONU ao *Met Office*, estão mudando sua terminologia e usando uma linguagem mais forte para descrever a situação em que nos encontramos”.

Passados quase dois anos da primeira orientação pública do jornal *The Guardian*, e pouco mais de um ano da pandemia da COVID-19 (ainda sem fim definitivo na data de escrita deste texto, abr/2021), o mesmo jornal reforça mensagens semelhantes em novo artigo (THE GUARDIAN, 2021), com os seguintes dizeres:

Estamos em uma **emergência**. (...) uma **catástrofe global** já está aqui, e que sem uma ação imediata, ela **vai piorar inimaginavelmente**.

(...)

O **planeta está queimando**. É hora do jornalismo reconhecer que a **emergência climática** está aqui. Esta é uma declaração da ciência, não política. Milhares de cientistas (...) disseram que a humanidade enfrenta uma **“emergência climática”**.

Por que **“emergência”**? Porque as palavras são importantes. Para preservar um planeta habitável, a humanidade deve agir imediatamente. O fracasso em reduzir a quantidade de dióxido de carbono na atmosfera tornará rotina os extraordinários episódios de 2020 (**calor, tempestades, incêndios florestais e derretimento do gelo**) e pode “tornar uma parte significativa da **Terra inabitável**”. [THE GUARDIAN, 2021, não paginado (*online*); tradução nossa; grifos nossos].

#### 1.2.5.8. Discursos de autoridades, lideranças, famosos, celebridades, ativistas etc.

A seguir, são reproduzidos diversos discursos de diversos setores e atores, destacando-se as palavras negativas, alarmistas, trágicas, apocalípticas etc.

O secretário-geral das Nações Unidas, António Guterres, falou (UNITED NATIONS, 2018) da **“crise climática”** em set/2018, acrescentando:

“Estamos perante uma ameaça existencial direta”.

O cientista climático Prof. Hans Joachim Schellnhuber, ex-assessor de Angela Merkel, da UE e do Papa, também usam o termo **“crise climática”**.

Greta Thunberg, a adolescente sueca que inspirou *greves escolares pelo clima*<sup>436</sup> em todo o mundo, disse em uma postagem no *Twitter* (THUNBERG, 2019):

Estamos em 2019. Podemos agora chamá-lo do que é: **colapso climático, crise climática, emergência climática, colapso ecológico, crise ecológica e emergência ecológica?** **#ColapsoClimático** **#ColapsoEcológico** [THUNBERG, 2019, não paginado (*online*); tradução nossa; grifos nossos].

O Greenpeace alerta (GREENPEACE, 2021) que **“o nosso clima está doente (...)”**, que **“eventos climáticos extremos (...) são sintomas de um clima global à beira do colapso”**. Conforme Morton (2020), a ativista Margaret Salomon, do *The Climate Mobilization* alertou em 2016:

Devemos adotar totalmente a linguagem da **crise imediata** e do **perigo existencial**. Devemos falar sobre as mudanças climáticas como uma **ameaça** de causar o **colapso da civilização, matando bilhões de pessoas e milhões de espécies...** Não se trata de ‘proteger o planeta para as gerações futuras’, mas proteger nossas próprias vidas e as das pessoas com quem nos preocupamos hoje.

O ator Leonardo DiCaprio, ao receber sua premiação no Oscar de 2016, declarou em seu discurso (HOFFMAN, 2016):

“a mudança climática é real, está acontecendo agora, é a **ameaça mais urgente** que toda a nossa espécie enfrenta, e precisamos trabalhar juntos e parar de procrastinar.”

Bill Gates, co-fundador da *Microsoft*, lançou, agora em 2021, um livro chamado “Como Evitar um Desastre

<sup>436</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/School\\_strike\\_for\\_climate](https://en.wikipedia.org/wiki/School_strike_for_climate)



Climático” (GATES, 2021). Em uma entrevista (DOMÍNGUEZ, 2021), afirmou:

A mudança climática é  **muito mais difícil de resolver** [do que o COVID-19], mas os **efeitos negativos** – se não resolvermos – também são **muito, muito maiores**.

Na mesma linha, o ex-presidente do Banco da Inglaterra, Mark Carney, hoje um enviado especial das ONU para a ação climática e finanças, profetiza um futuro ainda mais horripilante, afirmando (LEYL, 2021) que:

**Mortes por crise climática serão piores que a COVID-19.**

Em diversas declarações (FRANCISCO, 2017, 2019a, 2019b; FRACCALVIERI, 2019), o Papa Francisco considera as mudanças climáticas como uma “**emergência climática**”, um “**desafio da civilização**”, discorrendo:

Uma **crise** que está a levar o **mundo rumo ao desastre**.

Um dos **fenômenos mais sérios e preocupantes de nosso tempo**”, “um dos **piores fenômenos que a humanidade está testemunhando**.

A **crise ecológica** de hoje, especialmente as mudanças climáticas, **ameaça o próprio futuro da família humana**, e isso não é um exagero.

As gerações futuras estão no processo de herdar um **mundo muito arruinado**.

**Previsões catastróficas** não podem mais ser vistas com desprezo e ironia.

O secretário-geral da ONU, Antônio Guterres, avisou em dez/2020 (G1, 2020) que o mundo pode “enfrentar um **aumento catastrófico de temperatura** de mais de três graus neste século”, pressionando os países a declararem “**estado de emergência climática**” para neutralizarem as emissões de GEEs”. Ainda em dez/2020, também disse:

Há uma consciência crescente de que a maneira como estamos nos movendo é um **suicídio** em relação ao futuro e a todas as gerações futuras (FALK, 2020)

O estado do **planeta está quebrado**. A humanidade está travando uma guerra contra a natureza. **Isso é suicídio**. A natureza sempre revida – e já está fazendo isso com **força e fúria** crescentes. A biodiversidade está entrando em **colapso**; **ecossistemas estão desaparecendo** diante de nossos olhos; e os **oceanos estão sufocando** com resíduos de plástico (ROWLATT, 2020).

Em fev/2021 (UNITED NATIONS, 2021), o secretário-geral da ONU acrescentou que “**o planeta está em ‘alerta vermelho**” e que 2021 é um “ano de sucesso ou fracasso” para enfrentar a emergência climática global.

O Fundo Monetário Internacional, assim declara em seu *site* (IMF, 2021):

A mudança climática representa uma **grande ameaça** ao crescimento e à prosperidade de longo prazo e tem **impacto direto no bem-estar econômico** de todos os países.

No mundo político, Al Gore discursou (GORE, 2007) no recebimento do Prêmio Nobel da Paz em dez/2007:

Nós, a espécie humana, estamos enfrentando uma **emergência planetária** – uma **ameaça à sobrevivência de nossa civilização** que está acumulando um **potencial nefasto e destrutivo... a Terra está com febre**. E a **febre está aumentando**. Os especialistas nos disseram que não é uma **doença** passageira que se cura por si mesma. Pedimos uma segunda opinião. E um terceiro. E um quarta. E a conclusão consistente, reafirmada com **alarme crescente**, é que **algo básico está errado**. Nós somos o que está errado e devemos consertar.

Em 2015, o então presidente dos EUA, Obama, assim declarou (THE WHITE HOUSE, 2015):

“(…) nenhum desafio representa uma **ameaça maior para as gerações futuras** do que a mudança climática. (...) os melhores cientistas do mundo estão todos nos dizendo que nossas atividades estão mudando o clima, e se não agirmos com força, continuaremos a ver **oceanos subindo; ondas de calor mais longas e mais quentes; secas e inundações perigosas; e interrupções massivas** que podem desencadear uma **maior migração e conflito e fome** em todo o mundo. O Pentágono afirma que as mudanças climáticas representam **riscos imediatos para a segurança nacional**. Devemos agir de acordo.”

Ações semelhantes tem sido tomadas em outros círculos políticos, com um número crescente de jurisdições locais e nacionais declarando oficialmente o *estado de emergência climática*. Em abr/2019, o primeiro ministro escocês Nicola Sturgeon foi o primeiro a declarar uma emergência climática nacional em nome do governo escocês, em um discurso de conferência do partido. Isso foi rapidamente seguido por declarações oficiais do Reino Unido – onde parlamentares endossaram (WALKER, 2019), em mai/2019, a declaração de uma “emergência climática” – Portugal, Canadá, França e Argentina, entre outros. Tal movimento foi comparado a colocar um país em “pé de guerra”, uma demonstração de compromisso para combater a emergência, colocando a ação climática no centro da política governamental (OXFORD, 2019).

Na esfera científica, um artigo recente (RIPPLE et al., 2020), publicado em jan/2020 na revista *BioScience*, e assinado por 11.258 cientistas de 153 países, argumentou que “os cientistas têm a obrigação moral de **alertar** claramente a humanidade sobre qualquer **ameaça catastrófica**” e apresentou sua pesquisa para declarar “clara e inequivocamente que o planeta Terra está enfrentando uma **emergência climática**”<sup>437</sup>. Ainda, alegaram que “as **tendências alarmantes** para a mudança climática tornaram necessária uma ação urgente”, e que um “imenso aumento de escala nos esforços para conservar a biosfera é necessário para evitar um **sofrimento incalculável** devido à **crise climática**”. Uma outra carta mais recente (IFLAS, 2020), assinada em dez/2020 por um grupo de mais de 500 cientistas e acadêmicos de mais de 30 países, conclamou os formuladores de políticas a considerarem os riscos de ruptura social e até mesmo de colapso<sup>438</sup> civilizatório, para que as nações estejam prontas para o potencial crescente de tais cenários:

Pedimos aos formuladores de políticas que se envolvam com o **risco de ruptura** e até mesmo de **colapso das sociedades**. Depois de cinco anos sem conseguir reduzir as emissões de acordo com o acordo climático de Paris, agora devemos **enfrentar as consequências**. Embora esforços ousados e justos para reduzir as emissões e reduzir o carbono naturalmente sejam essenciais, os pesquisadores em muitas áreas consideram o **colapso social** um cenário confiável neste século. (...) Somente se os formuladores de políticas começarem a discutir essa **ameaça de colapso social** poderemos começar a reduzir sua probabilidade, velocidade, **gravidade e danos** aos mais vulneráveis - e à natureza.

Tal carta, que prevê o colapso iminente da sociedade como resultado da mudança climática, foi encabeçada pelo professor britânico da Universidade de Cumbria, Jem Bendell, autor de um ensaio acadêmico (BENDELL, 2018) com mais de meio milhão de acessos<sup>439</sup>.

Cientistas, que antigamente se manifestavam principalmente por meio de artigos científicos, têm cada vez mais se pronunciado publicamente, por meio de entrevistas, reportagens e artigos diversos publicados na *Internet*. Nessas mídias, os formatos não são tão restritivos quanto os limites e diretrizes acadêmicas. Assim, a linguagem usada pelos cientistas costuma ser mais alarmista. Em um artigo (MOSES, 2021) publicado na *Internet*, Will Steffen, climatologista e professor emérito da Universidade Australiana Nacional, diz que “já estamos profundamente na trajetória para o **colapso da civilização**”, o que agora pode ser inevitável porque 9 dos 15 pontos de inflexão climáticos globais conhecidos que regulam o estado do planeta foram

<sup>437</sup> Em contraposição, um grupo chamado *Climate Intelligence Foundation* enviou ao Secretário-Geral da ONU durante a Cúpula de Ação Climática, em set/2019, uma carta assinada por mais 500 cientistas de todo mundo, argumentando que “não há emergência climática”. Os cientistas declaram na carta que “a ciência climática deve ser menos política, enquanto as políticas climáticas devem ser mais científicas. Os cientistas devem abordar abertamente as incertezas e exageros em suas previsões do aquecimento global, enquanto os políticos devem contar desapaixonadamente os custos reais e os benefícios imaginados de suas medidas políticas”. A carta está disponível em: <https://clintel.org/world-climate-declaration/>

<sup>438</sup> Artigo de Turner (2008) alega que, com base em indicadores ambientais, econômicos e sociais, a tendência geral tem como resultado o colapso do sistema global em meados do século 21. Dando continuidade a tal pesquisa, outros artigos (TURNER, 2012, 2014) estimaram um colapso da economia global e da população em um futuro próximo, começando por volta de 2015, com a produção industrial *per capita* caindo vertiginosamente, seguida pela baixa produção de alimentos e serviços. Consequentemente, as taxas de mortalidade aumentariam a partir de 2020 e a população cairia a partir de cerca de 2030.

<sup>439</sup> Conforme registrado por Hunter (2020), o citado ensaio de Bendell (2018) se tornou a coisa mais próxima de um manifesto por uma geração de autodenominados “profetas da ruína climática”. Muitos cientistas climáticos convencionais rejeitaram

totalmente as afirmações no referido documento. No ensaio, Bendell argumenta que é tarde demais para se prevenir “a inevitabilidade do colapso social causado pela mudança climática”. Em vez disso, afirmou que estamos enfrentando um colapso da civilização de “curto prazo” (dentro de cerca de uma década). O ensaio foi rejeitado para publicação por um jornal científico revisado por pares, cujos revisores disseram que sua linguagem “não era apropriada para um artigo acadêmico”. Após a rejeição da revista, em jul/2018, Bendell divulgou na *Internet*, por conta própria, o artigo de 34 páginas, que logo se tornou “viral” (amplamente difundido). Já foi acessado mais de meio milhão de vezes, traduzido para uma dúzia de idiomas e desencadeou um movimento global com milhares de seguidores, chamado *Deep Adaptation* (“Adaptação Profunda” – [https://en.wikipedia.org/wiki/Deep\\_Adaptation](https://en.wikipedia.org/wiki/Deep_Adaptation)). O ensaio foi classificado por outros cientistas como “um disparate pseudocientífico” e “uma tempestade perfeita de equívocos e teimosias”, visto que não há evidências confiáveis de que estaríamos enfrentando um “colapso inevitável no curto prazo”. Assim, as previsões de colapso social nos próximos anos como resultado da mudança climática parecem muito forçadas. O nível de alarmismo do ensaio de desagradou até mesmo o movimento de ativismo climático *Extinction Rebellion*, que chegou a publicar um texto crítico (NICHOLAS; HALL; SCHMIDT, 2020) a respeito.

ativados. Ainda, disse que há uma chance de termos acionado uma “*cascata de inflexão global*” que nos levaria a um clima menos habitável de uma “*Terra Quente*”, independentemente de termos reduzido as emissões. Steffen afirmou que levaria 30 anos no máximo (mais provavelmente 40 a 60 anos) para fazer a transição para emissões líquidas zero. Acrescentou que:

Dado o *momentum* nos sistemas terrestre e humano, e a crescente diferença entre o ‘tempo de reação’ necessário para conduzir a humanidade em direção a um futuro mais sustentável, e o ‘tempo de intervenção’ restante para evitar uma série de *catástrofes* no sistema climático físico e da biosfera, já estamos profundamente na *trajetória para o colapso*.<sup>440</sup>

Na mesma reportagem de Moses (2021), outro professor, Hans Joachim Schellnhuber, fundador do Instituto Potsdam para Pesquisa de Impacto Climático, acredita que “se formos muito acima de 2 °C, chegaremos rapidamente a 4 °C de qualquer maneira por causa dos pontos de inflexão e *feedbacks*”, o que significaria “um *risco muito grande* de simplesmente *acabarmos com a nossa civilização*”. Por fim, a reportagem cita um trecho de um documento do FMI:

Esse *risco* de *desastre catastrófico e irreversível* está *aumentando*, implicando *custos potencialmente infinitos* de mudanças climáticas não mitigadas, incluindo, no extremo, a *extinção humana*.

Essa pequena amostra de proclamações, atesta o seguinte: praticamente todos os líderes mundiais, autoridades e representantes de diferentes setores, instituições científicas, políticas, financeiras, religiosas, celebridades, pessoas famosas, personalidades públicas, ativistas e ambientalistas reverberam um coro uníssono da *emergência climática*. Interessante registrar que outros termos (*crise*

*climática, colapso climático*) não passam a ideia da escala temporal do dano, somente transmitem uma impressão de que “algo ruim pode acontecer”. Enquanto que a *emergência climática* possui intrinsecamente a noção de risco trágico associado com a iminência do acontecimento, ou seja, “algo de muito ruim está para acontecer em breve”. Nesse sentido a palavra *emergência* tem sido ultimamente adotada como a preferida para comover e mobilizar o público geral, motivar suas ações e ativismos, bem como justificar a tomada de decisões urgentes, com o intuito de evitar uma suposta e iminente tragédia climática.

## I.2.6. REAÇÃO AO ALARMISMO CLIMÁTICO

De um lado, existe um nítido exagero científico-político-midiático sobre os temas afetos às mudanças climáticas, que utiliza dos variados recursos apelativos e sensacionalistas. Do outro lado, como receptores das mensagens dramaticamente carregadas, as pessoas, pressionadas a agir a favor do meio ambiente e do clima, internalizam tais pregações coletivas e as incorporam como crenças individuais. Entretanto, suas atitudes não correspondem às expectativas individuais e coletivas. Logo, existe um distanciamento entre o que é de fato executado e o que é esperado. Por mais que as pessoas, cobradas por si mesmas e pela sociedade, se esforcem e promovam o zelo ambiental por meio de suas atitudes, nunca elas estarão completamente satisfeitas. Como efeito colateral, haverá uma “culpa verde”. Parte dessa culpa poderá resultar em eco-ansiedade, ou em desmotivação.

### I.2.6.1. Níveis de interesse das pessoas

Em artigo nosso (OLIVEIRA; CARNEIRO; VECCHIA, 2017), a partir de dados do *Google Trends* para o período de 2004–2017, rastreamos os níveis de interesse das pessoas sobre termos associados às mudanças climáticas e aquecimento global. No

<sup>440</sup> Importante destacar que, na reportagem (MOSES, 2021), a palavra “colapso” foi citada 28 vezes. Outras palavras e termos negativos também foram usadas: colapso inevitável, planeta menos habitável, catástrofes, extinção em massa, secas extremas, emergência planetária, descongelamento irreversível, ameaça existencial para a civilização, problema climático, risco e urgência da situação agudos, ponto sem volta, clima muito mais quente, mundo turbulento e cheio de conflitos, futuro desastre, crescente instabilidade, desastres climáticos, danos futuros opressores, perturbação climática, declínio global da natureza sem precedentes, Terra mais desgastada etc. Na reportagem foram citados alguns artigos, entre eles um que foi publicado na *Nature* (LENTON et al., 2019), tendo Steffen como coautor. Nesse artigo, a palavra “colapso” foi citada somente 3 vezes, e dentro do contexto específico de “colapso do manto de

gelo”. A princípio, pode parecer que um artigo científico foi menos “alarmista” do que uma reportagem. Mas ao ler o restante do artigo, tantos outros termos negativos também estavam presentes: crescente ameaça de mudanças climáticas abruptas e irreversíveis, emergência climática, ação climática urgente, pontos de inflexão perigosamente próximos, inevitável acumulação de impactos, perda profunda da biodiversidade marinha e meios de subsistência humanos, desestabilização da Amazônia, planeta menos habitável, estado climático de ‘estufa’, perigo, emergência planetária, risco e urgência agudos, dano, estabilidade e resiliência do planeta em perigo. Nota-se que, não só impregnado na mídia convencional, o tom alarmista também vem se imiscuindo e sendo incorporado nos diversos artigos científicos.

trabalho, concluímos que houve um grande pico no período de 2006 a 2008. Considerando que houve um aumento na percepção da “urgência climática” nos últimos 3 anos, notadamente por conta de movimentos como *Extinction Rebellion*, a partir de 2018, e pela evidência da ativista Greta Thunberg em 2019, cabe fazer uma atualização das tendências no *Google Trends*.

A **Figura 231** apresenta o nível relativo de interesse (no *Google Trends*), de jan/2004 a fev/2021, relativo duas palavras-chave: *aquecimento global* e *mudanças climáticas*. Na figura, constam sete gráficos:

- **Gráfico (A)** –nível interesse em todo mundo: percebe-se um forte pico entre 2007 e 2008 na curva do “aquecimento global”, seguido de declínio para patamares abaixo de 25% em 2011, com queda progressiva até pouco mais de 10% nos dias de hoje. Para a curva das “mudanças climáticas”, nota-se que os níveis oscilaram entre 10 e 25% por boa parte da série, até que, em meados de 2019, houve um pico de cerca de 40%, muito provavelmente atribuído à notoriedade trazida à tona pelo relatório SR15 do IPCC, publicado em out/2018, bem como pela visibilidade de movimentos ativistas proporcionados pelo *Extinction Rebellion* e pela Greta Thunberg.
- **Gráfico (B)** –nível interesse no Brasil: comportamento geral semelhante ao do gráfico anterior, com o pico de interesse por “aquecimento global”. Após 2009, as duas curvas permaneceram abaixo dos patamares de 10% de interesse.
- **Gráfico (C)** –nível interesse nos Estados Unidos: comportamento geral semelhante ao do gráfico (A);
- **Gráfico (D)** –nível interesse no Reino Unido: comportamento geral semelhante ao do gráfico (A). Observa-se uma pequena sutil diferença na curva das “mudanças climáticas” que, em 2019, apresentou pico de cerca de 50%;
- **Gráfico (E)** –nível interesse na França: comportamento geral semelhante ao do gráfico (A). Observa-se uma

diferença mais chamativa na curva das “mudanças climáticas” que começou a apresentar aumentos desde 2015, atingindo cerca de 40% de interesse e permanecendo próximo disso até os dias atuais. O grande pico em 2016, com 70%, representa o aumento de interesse decorrente das negociações e da adoção do *Acordo de Paris*;

- **Gráfico (F)** –nível interesse na Alemanha: comportamento geral semelhante ao do gráfico anterior. Houve um gradual aumento do interesse curva das “mudanças climáticas” a partir de 2015, atingindo cerca de 50% de interesse nos dias atuais. O grande pico em 2019, de mais de 80%, indica uma resposta à aparição do *Extinction Rebellion* e da ativista Greta Thunberg;
- **Gráfico (F)** –nível interesse na Suíça (país natal da Greta Thunberg): comportamento geral semelhante ao do gráfico anterior. Houve um gradual aumento do interesse curva das “mudanças climáticas” até o grande pico em 2019, com cerca de 75% (em virtude do *Extinction Rebellion* e da ativista Greta Thunberg). Logo após o pico, iniciou-se um declínio em 2020 até que, hoje, o nível está na faixa dos 25% de interesse.

Considerando que todos os gráficos da **Figura 231** possuem a mesma escala relativa (percentual, variando de 0 a 100%), não é possível fazer comparações entre as diferentes localizações. O *Google Trends* não permite diretamente<sup>441</sup> comparar em qual país houve maior/menor interesse nas pesquisas das palavras selecionadas aqui nessa análise. De qualquer forma, a conclusão geral é que, após o grande pico de interesse observado entre 2007 e 2008, tais patamares ainda não foram superado até os dias atuais. Nos países selecionados, apenas três eventos despertaram maior interesse na década de 2010-2020, especialmente nos países europeus: o *Acordo de Paris* chamou a atenção na França; e o movimento *Extinction Rebellion* e a ativista Greta Thunberg provocaram aumento no interesse no Reino Unido, França, Alemanha e Suíça.

<sup>441</sup> É possível realizar algumas tentativas e estimativas de interesse usando algumas palavras “neutras” em todos os países, como “amor”, “vida”, entre outras. Assim, usando tais palavras como referência, já que elas costumam apresentar tendências

estáveis ao longo do tempo, é possível fazer comparações mais aprofundadas, mas que não cabem no escopo da presente análise.



**Figura 231** – Evolução (2004-fev/2021) do nível de interesse das pessoas nos termos *aquecimento global* e *mudanças climáticas* (conforme buscas registradas no Google Trends). No eixo vertical, encontra-se a frequência relativa dos termos buscados em relação termo que apresentou o maior valor (“aquecimento global”, cujo valor máximo foi igual a 100 no começo de em 2007). Fonte: elaboração própria, com base em consultas realizadas no Google Trends<sup>442</sup>.

<sup>442</sup> Parâmetros da pesquisa: termos pesquisados = “*global warming*”, “*climate change*”; Período = 2004-fev/2021; Abrangência = Mundo todo; Categoria = Todas; Base de dados = Buscas na Internet. Para obtenção da curva suavizada e intervalos de confiança, utilizou-se a lógica do seguinte *script* (na programa RStudio):

```
library(gtrendsR); library(ggplot2); dados_MUNDO <- gtrends(c("climate change", "global warming"), onlyInterest=TRUE, time="all"); plot(dados_MUNDO) + stat_smooth(span = 0.3).
```

### I.2.6.2. Níveis de preocupação das pessoas

Pelo visto até aqui, percebe-se que relatórios científicos e notícias sobre o “terrível” estado do nosso planeta levaram a uma onda de sobrecarga de informações sobre os indivíduos. Conforme exposto no item anterior, o auge do interesse das pessoas sobre temática “mudanças climáticas/aquecimento global” ocorreu há quase 15 anos atrás. Alguns eventos pontuais chegaram a atingir alguns níveis elevados, com picos acima de 50% e até 80%. No entanto, comparativamente, não representaram efeitos duradouros nas séries.

Apesar da relativa queda geral do interesse por buscas no *Google* desde 2010, a mesma tendência não ocorre com o nível de preocupações das pessoas sobre o tema. Pode-se dizer que, na década de 2000-2010, a mídia largamente apresentou às pessoas os possíveis impactos climáticos. Com isso, muitos procuraram entender os fenômenos envolvidos na questão que desde sempre apresenta inúmeras controvérsias e discussões. Já na década de 2010-2020, o nível do efeito alarmismo jornalístico/midiático pode ter aumentado por conta do maior uso de *smartphones* das pessoas. Assim, houve um fácil e instantâneo acesso às mídias sociais diversas, as quais contribuíram com a difusão de notícias, amplificando a permeabilidade do assunto no cotidiano geral. As pessoas passaram a ler mais notícias em diferentes *sites* de notícias e, ao mesmo tempo, começaram a divulgar, replicar, comentar, reagir e demonstrar reações em diversos outros meios antes não tão usados, como as redes e mídias sociais.

Diante desse novo contexto, as pessoas passaram a ter menor interesse geral em realizar buscas no *Google*, comportamento que refletiu nas séries do *Google Trends*. No entanto, procurar menos não quer dizer que as pessoas passaram a se preocupar menos com o assunto. Como dito antes, a mídia nunca deixou de publicar e alertar sobre as mudanças climáticas, e as pessoas continuaram a ler/ouvir/assistir cada vez mais conteúdos alarmantes sobre uma crise e emergência climática.

Diferentemente das séries obtidas com dados do *Google Trends*, não existem tantas séries longas, abrangentes, consistentes e representativas sobre o nível de preocupação sobre mudanças climáticas. No nosso artigo

(OLIVEIRA; CARNEIRO; VECCHIA, 2017) já foram apresentadas algumas séries do gênero, mas aqui serão apresentadas outras séries ainda não citadas.

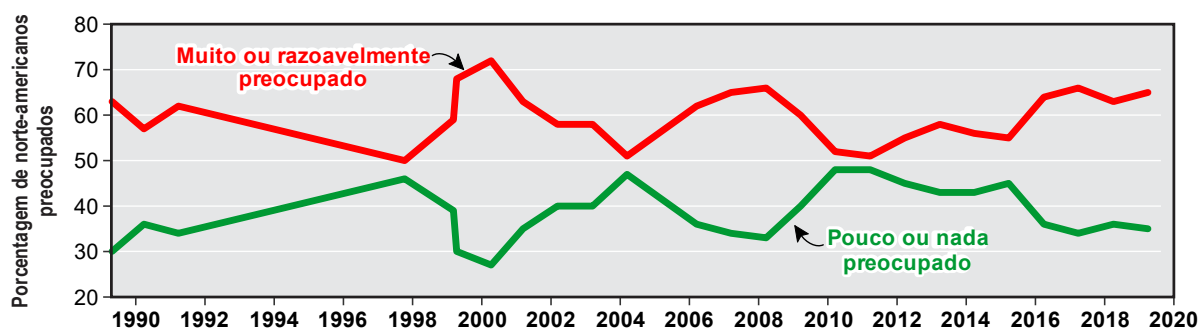
Começando por uma pesquisa realizada nos EUA, por Gallup (2019), que monitora a percepção de problemas ambientais desde 1989: a **Figura 232** apresenta o percentual de norte-americanos preocupados com as mudanças climáticas. Nota-se que, desde 1990, as opiniões dos norte-americanos se mantiveram oscilando em torno de níveis estáveis. Atualmente, cerca de dois terços (65%) reconhecem de várias maneiras que o aquecimento global é um problema real. Ao mesmo tempo, um terço (35%) expressa pouca ou nenhuma preocupação sobre o assunto.

Ainda, a Gallup determinou em outra pesquisa (SAAD, 2019) que cerca de metade dos americanos (45%) acha que o aquecimento global representará uma séria ameaça em suas próprias vidas. Além disso, 42% acham que as notícias subestimam a seriedade do aquecimento global, enquanto 22% acham que as notícias acertam e 35% acham que ela exagera o problema. Em termos de diferenças demográficas, há uma distribuição de 20 pontos percentuais entre os americanos mais jovens e mais velhos entre aqueles classificados como “preocupados convictos<sup>443</sup>”: 67% de jovens de 18 a 29 se dizem muito preocupados, contra 47% de adultos com 65 anos ou mais.

Segundo outra pesquisa da Gallup (REINHART, 2018), existem várias razões potenciais para as diferenças geracionais em torno das mudanças climáticas. Um dos motivos, relativo aos efeitos climáticos adversos na vida de uma pessoa, resulta do fato de que as pessoas mais velhas podem perceber que não estarão mais vivas quando a futura crise climática se instaurar. Logo, os indivíduos mais jovens reconhecem que o “alvo está nas suas costas”, ou seja, que sua geração que poderá sentir e sofrer mais pelas ameaças climáticas, se concretizadas. Outro motivo é devido ao fato de os mais jovens estarem sendo expostos a mais discussões sobre as mudanças climáticas e o meio ambiente em suas experiências educacionais mais recentes, enquanto que tais questões não estavam no currículo escolar de muitos estudantes há décadas atrás.

<sup>443</sup> São pessoas que estão altamente preocupadas com o aquecimento global, acham que isso representará uma ameaça séria em suas vidas, acreditam que é o resultado

da atividade humana e acham que as notícias sobre isso são precisas ou subestimam o problema.



**Figura 232** – Nível de preocupação dos norte-americanos sobre as mudanças climáticas, conforme pesquisas de opinião realizadas entre 1989 e 2019. Fonte: elaborado a partir dados obtidos em Gallup (2019).

De acordo com uma pesquisa da Associação Americana de Psicologia (APA, 2020a), mais da metade dos adultos nos EUA (56%) afirmam que a mudança climática é a questão mais importante que a sociedade enfrenta hoje, listando as mudanças climáticas como “uma fonte de estresse de certa forma ou significativa”. A preocupação com questões climáticas também está impactando a saúde mental dos norte-americanos, com mais de dois terços dos adultos (68%) dizendo que têm pelo menos um pouco de “eco-ansiedade” (qualquer ansiedade ou preocupação com as mudanças climáticas e seus efeitos). Esses efeitos possuem um impacto desproporcional sobre os adultos mais jovens do país: quase metade das pessoas de 18 a 34 anos (47%) afirmam que o estresse que sentem sobre as mudanças climáticas afeta suas vidas diárias.

Em pesquisa (PR NEWSWIRE, 2018) realizada nos Estados Unidos, obteve-se que 92% dos americanos estão preocupados com o futuro do nosso planeta. Quando uma geração inteira cresce ouvindo e assistindo notícias negativas sobre o meio ambiente, os efeitos emocionais tendem a ser maiores entre os jovens de hoje. E a citada pesquisa ainda revela o resultado do alarmismo climático: quase três quartos (72%) da “geração do milênio”, com idade entre 18 a 34 anos, dizem que assistir, ouvir e/ou ler notícias negativas sobre o meio ambiente ocasionalmente tem um impacto em seu bem-estar emocional (por exemplo, ansiedade, pensamentos acelerados, problemas de sono, sensação de mal-estar).

Além dos Estados Unidos, o nível de preocupação climática também é alto na Inglaterra. Pesquisadores da Universidade de Cardiff, após entrevistas de representação nacional, chegaram aos seguintes resultados (CARDIFF UNIVERSITY, 2020): um quarto (23%) das pessoas disse que a mudança climática é a segunda questão mais urgente da Grã-Bretanha a ser enfrentada nas próximas duas décadas; a preocupação com o clima dobrou desde 2016, com 40% dizendo que agora estão “muito ou extremamente preocupados”; e um terço dos entrevistados relatou sentir “muito ou

bastante” ansiedade, medo e indignação ao pensar sobre as mudanças climáticas. Nesse sentido, há evidências de que o público britânico está experimentando cada vez mais o clima mudança como uma questão “emocional”.

Ainda na Inglaterra, pesquisa (TRIODOS BANK, 2019) encomendada por um banco obteve resultados semelhantes ao estudo anterior. Meses de crescentes protestos ambientais e avisos sobre a necessidade de ação para combater as mudanças climáticas resultaram em “ansiedade ecológica”, com pouco mais de um terço (34%) do público britânico se sentindo sobrecarregado e ansioso por causa da emergência ambiental. De acordo com a pesquisa, 29% dos britânicos se sentem oprimidos pela crise, nível que aumenta para 40% entre os jovens de 16 a 24 anos.

Em pesquisa recente (RAMSELL, 2019) realizada no Reino Unido, foi revelado que, embora a maioria dos britânicos se esforce diariamente para reduzir o impacto no meio ambiente, 89% dos adultos sentem a “culpa verde” (sentimento de que poderia e deveria fazer mais para ajudar o planeta) – apesar de seus esforços para reduzir seus impactos ambientais nos hábitos de consumo. Por um lado, a pesquisa indica que parece que todas as informações que compelem as pessoas viver uma existência mais ecológica estão funcionando: o estudo revelou que 83% dos adultos diriam que estão conscientes (42%), ou muito conscientes (41%) sobre seu impacto ambiental. Por exemplo, especificamente para evitar o pior das mudanças climáticas, 64% dos entrevistados consideraram-se ativos ou muito ativos na mudança de suas vidas diárias. No entanto, a culpa permanece. Apesar de suas melhores intenções, a ampla mensagem para promover a necessidade de mudança pode aparentemente desmotivar o público e desencadear sentimento de culpa. Um montante de 30% experimenta o sentimento de “culpa verde” com frequência. Jovens de 18 a 24 anos têm maior probabilidade de se sentir culpados e de se sentirem julgados por seu impacto ambiental. Para 30% das pessoas que revelaram que sua culpa ecológica é um sentimento constante, essa

sobrecarga de informações emparelhada com críticas pode levar a uma certa desmotivação, ou mesmo a algum sentimento de inutilidade: um sentimento de que nunca serão ecologicamente corretos, não importa seus esforços e preocupações em relação às mudanças climáticas. Apesar dos sentimentos de culpa, em geral, o Reino Unido tem uma opinião positiva sobre tentar viver de forma sustentável (57%). Mas esses fatores levam a alguns sentimentos um pouco menos positivos - quase um quarto (22%) se sente oprimido e estressado por tentar viver dessa maneira ecologicamente proativos, enquanto 8% se sente desamparado, e 7% se sente indiferente.

Um relatório (STEENTJES et al., 2017) do projeto Percepções Europeias sobre Mudanças Climáticas, publicado em 2017, encontrou níveis significativos de preocupação e ansiedade nas populações da Noruega, França, Reino Unido e Alemanha, que acreditavam que consequências negativas já as afetavam e que mais efeitos deletérios viriam devido às mudanças climáticas.

Adicionalmente, Clayton (2020) apresenta uma síntese de diversas pesquisas ao redor do mundo que mostram que as mudanças climáticas são uma fonte de preocupação: entre 20% e 40% dos europeus, variando entre os países, descreveram-se como “muito preocupados” em 2016 com questões climáticas. Em uma pesquisa realizada em 2018 na Groelândia, 38% dos groenlandeses relataram que sentiam medo “moderadamente” ou “muito fortemente”; 19% relataram tristeza moderada ou forte e 18% relataram desesperança moderada ou forte. Em Tuvalu, composto por 9 ilhas na Polinésia e atóis, país com risco significativo de sofrer com o aumento do nível médio dos mares, 95% das pessoas relataram sofrimento com a mudança climática; em 87% dos casos, foi relatado prejuízo da funcionalidade normal. Em pesquisa de 2018 da Universidade de Yale, EUA, 69% dos americanos estavam pelo menos “um pouco preocupados” com o aquecimento global e 29% disseram estar “muito preocupados”. Quase metade (49%) pensa que será prejudicada pessoalmente por ela.

Por fim, no Brasil, recente pesquisa (ITS, 2021) chegou aos seguintes resultados: 92% dos brasileiros consideram que o aquecimento global está acontecendo; 78% acham muito importante a questão do aquecimento global; 72% consideram que o aquecimento global pode prejudicar muito a si e a suas famílias; 88% acreditam que

o aquecimento global pode prejudicar muito as gerações futuras; e 61% declararam estar muito preocupados com o meio ambiente atualmente. Apesar do alto nível de preocupação dos brasileiros, a pesquisa também levantou que somente um quarto (25%) das pessoas disse que sabe muito sobre aquecimento global ou mudanças climáticas<sup>444</sup>.

Pela amostra de pesquisas e artigos relacionados, nota-se que permanece em alta o nível de preocupação geral da pessoas perante às alardeadas ameaças das mudanças climáticas. É notório que, cada vez mais, os estudos e notícias estão começando a alertar que estamos perigosamente perto de um “ponto sem volta”, que o mundo não está fazendo o suficiente para limitar as emissões de GEEs para evitar o limite de 2 °C acima das temperaturas pré-industriais. E que tudo isso levará a consequências catastróficas e irreversíveis.

As pessoas tendem a responder a essas terríveis projeções científicas de duas maneiras muito diferentes: adotar um niilismo completo ou dobrar o otimismo. O niilismo se reflete em notícias que dizem que a humanidade perdeu a chance de agir ou o sentimento de que “nada importa, então por que tentar mudar algo?”. Ou, na outra extremidade do espectro, existem grupos torcendo pelo potencial da energia limpa e de outras tecnologias.

Conforme visto antes, o medo é a raiz da emoção da ansiedade, e a partir daí ela é expressa e tratada de diferentes maneiras, desde ignorar a questão ou assumir uma atitude derrotista. Raramente, a fuga pode ser direcionada a extremos como abuso de drogas e até mesmo suicídio. Dois recentes estudos descobriram que as taxas de suicídio tendem a aumentar a cada grau Celsius de aumento de temperatura. O primeiro (GAO et al., 2019) deles mostrou que cada aumento de 1 °C na temperatura foi significativamente associado a um aumento de 1% na incidência de suicídio. Já no segundo estudo (BURKE; GONZÁLEZ; BAYLIS, 2018), se a mudança climática não for mitigada, os pesquisadores projetaram a possibilidade de ocorrer de 9 a 40 mil suicídios adicionais nos Estados Unidos e no México até 2050, representando uma mudança nas taxas de suicídio comparáveis ao impacto estimado das recessões econômicas.

As temperaturas mais altas podem ser desgastantes para o corpo, pois causam um aumento no hormônio do

<sup>444</sup> Se por um lado existe um elevado nível de preocupação dos brasileiros sobre as mudanças climáticas, mas a maioria sabe pouco sobre o tema, tal fato demonstra aqui um típica representação do “medo do desconhecido” (conforme abordado no *item 1.2.3.2*, pg. 20). As pessoas simplesmente acreditam nas mensagens nefastas difundidas pelas mídia alarmista e, ingênua e inconscientemente, adquirem um medo descabido, sem nem mesmo compreender razoavelmente bem a questão. A fraca base educacional brasileira, com discrepantes lacunas, implica nessa falta do

entendimento sobre a real magnitude e importância do problema climático. No fim, sem existir um filtro de racionalidade minimamente desenvolvida, as mensagens alarmantes atravessam livremente mentes desavisadas, distorcem as compreensões e percepções de riscos e perigos, e instauram preocupações sobre o clima que são desproporcionalmente exorbitantes.



estresse cortisol, reduzem a qualidade do sono e atrapalham as rotinas de atividade física das pessoas. A exaustão pelo calor, uma reação relativamente comum em intensas ondas de calor, pode incluir sintomas físicos como tontura, dor de cabeça e desmaios. Essas mudanças podem reduzir o bem-estar e aumentar o sofrimento psicológico.

É tentador imaginar a relação entre altas temperaturas e altas taxas de suicídio, como se fosse racional esperar que uma pessoa desesperada, que não aguenta mais o “calor de matar”, acaba simplesmente se suicidando para fugir da sensação incômoda do calor insuportável. No entanto, conforme explica Page, Hajat e Kovats (2007), existem três mecanismos pelos quais a alta temperatura pode exercer um efeito causal sobre os suicídios: sociológico, biológico e psicológico. Um possível mecanismo sociológico é, por exemplo, o uso de álcool em excesso em dias quentes. Os mecanismos biológicos têm se concentrado em neurotransmissores como a serotonina, que são conhecidos por variar com a estação e serem negativamente correlacionados com impulsividade, agressão. Embora especulativo, talvez o mecanismo mais promissor para vincular o suicídio a altas temperaturas seja o psicológico. Altas temperaturas levam os indivíduos a se comportarem de maneira mais desinibida, agressiva e violenta, o que pode, por sua vez, resultar em um aumento da propensão para atos suicidas.

### **I.2.7. RISCOS, PERIGOS E AMEAÇAS: PERCEPÇÃO, ANÁLISE E PÚBLICOS VULNERÁVEIS**

O funcionamento psicológico humano desempenha um papel significativo na tomada de decisão sobre as mudanças climáticas. Fatores psicológicos importantes para a tomada de decisão incluem: percepção, representação, aquisição de conhecimento, memória, comportamento, emoções e compreensão do risco (JONES et al., 2014).

#### **I.2.7.1. Percepção humana dos riscos<sup>445</sup>**

De modo geral, usamos o transporte terrestre (carros, motos, ônibus) todos os dias e viajamos relativamente pouco pelo modal aéreo.

Estatisticamente falando, voar é muito mais seguro do que dirigir. No entanto, pode parecer mais perigoso porque a percepção de risco é baseada em mais do que fato. Primeiro, dirigir proporciona mais controle pessoal, passando uma sensação psicológica que o torna “mais seguro”. Além disso, acidentes de avião são catastróficos e mais chocantes. A morte de várias pessoas de uma vez chama mais atenção e torna as pessoas mais sensíveis a tais tipos de acidentes. Já os acidentes de trânsito acontecem todos os dias e distribuem a perda ao longo do tempo, tornando seus efeitos combinados menos perceptíveis.

Nota-se que a *percepção do risco*<sup>446</sup> não tem a ver só com fatos, números ou chances probabilísticas. É também uma questão de emoção<sup>447</sup>. Riscos que escolhemos correr (como viver em uma cidade poluída, dirigir todos os dias para ir ao trabalho) podem ser altos, porém bem aceitos. Riscos menores, mas que dependem da vontade ou de interesses de outras pessoas, ou que são “semi-invisíveis” (por exemplo, excesso de agrotóxicos nas frutas) podem ser percebidos como mais assustadores ou inaceitáveis moralmente. Riscos que achamos (erroneamente) poder controlar (dirigir nosso carro, por exemplo, ou comer gorduras e colesterol) assustam menos do que situações em que entregamos nossa vida em mãos alheias. Riscos que podem levar a mortes terríveis assustam mais, por mais raros que sejam, do que doenças comuns que matam percentualmente muito mais. Riscos “naturais” inquietam menos que riscos causados “artificialmente”. Riscos novos e desconhecidos podem chegar rapidamente ao topo de nossa agenda de preocupações, apesar de serem, às vezes, remotos (como a pneumonia asiática no Brasil). E ainda: riscos pequenos, porém catastróficos (isto é, que matam uma porcentagem minúscula da população mas muitas pessoas ao mesmo tempo), causam muito mais medo e atenção do que riscos “crônicos”, que matam em quase toda família, mas ao longo de anos.

Em algumas situações altamente arriscadas, o contato constante com o fator de risco pode causar uma habituação e percepção adulterada de normalidade. Nesse caso, ocorre uma sensação de

<sup>445</sup> Baseado em Castelfranchi (2007).

<sup>446</sup> Sobre a percepção do risco, como obra de referência completa, sugere-se o livro de Slovic (2000).

<sup>447</sup> Apesar da noção geral de que as pessoas são tomadores de decisão completamente racionais, os humanos costumam ser bastante irracionais em muitas de suas decisões. Vieses psicológicos humanos e tendências comportamentais – como preferir que as coisas permaneçam iguais, evitar coisas que são difíceis e

descontar o futuro – costumam trapacear a racionalidade. No campo da economia, um dos princípios adotados por economistas comportamentais é que as pessoas são emocionais e “previsivelmente irracionais” em suas tomadas de decisão. Outro princípio é a “arquitetura de escolha”. Os humanos preferem a simplicidade, têm uma capacidade de atenção limitada e se esforçam para evitar aborrecimentos (JENKS, 2017).

risco reduzido. Isso explica porque as pessoas não costumam se preparar para um desastre: é a tendência humana de desacreditar ou minimizar avisos de perigo, chamado de “viés de normalidade”. Já em outros contextos, no caso de eventos com riscos insignificantes, repetidos alertas e avisos podem aumentar o nível de atenção das pessoas sobre determinado problema em evidência, fazendo com que tal assunto assuma a impressão de representar um alto risco. Portanto, existem distorções entre o risco real e risco percebido em diversas situações e, em cada caso, os fatores envolvidos determinam o grau de aumento ou redução da percepção do risco.

### **I.2.7.2. Análise de risco: riscos percebidos e riscos reais**

A habilidade de sentir e evitar condições ambientais prejudiciais é necessária para a sobrevivência de todos os organismos vivos. A sobrevivência também é auxiliada pela capacidade de codificar e aprender com a experiência anterior. Os humanos têm uma capacidade adicional que lhes permite alterar seu ambiente e também responder a ele. Essa capacidade cria e reduz o risco.

Nas décadas da Guerra Fria (1970-1980), o profundo desenvolvimento das tecnologias químicas e nucleares foram acompanhadas pelo potencial de causar danos catastróficos e duradouros à Terra e às formas de vida que a habitam. Os mecanismos subjacentes a essas tecnologias eram complexos, desconhecidos e incompreensíveis para a maioria dos cidadãos. As consequências nucleares mais prejudiciais eram raras e frequentemente retardadas, portanto, difíceis de avaliar por análise estatística, e não sendo adequadas para o gerenciamento de aprendizagem por tentativa e erro. As qualidades elusivas e difíceis de gerenciar os perigos nucleares forçaram a criação de uma nova disciplina intelectual chamada *análise de risco*, projetada para auxiliar na identificação, caracterização e quantificação do risco.

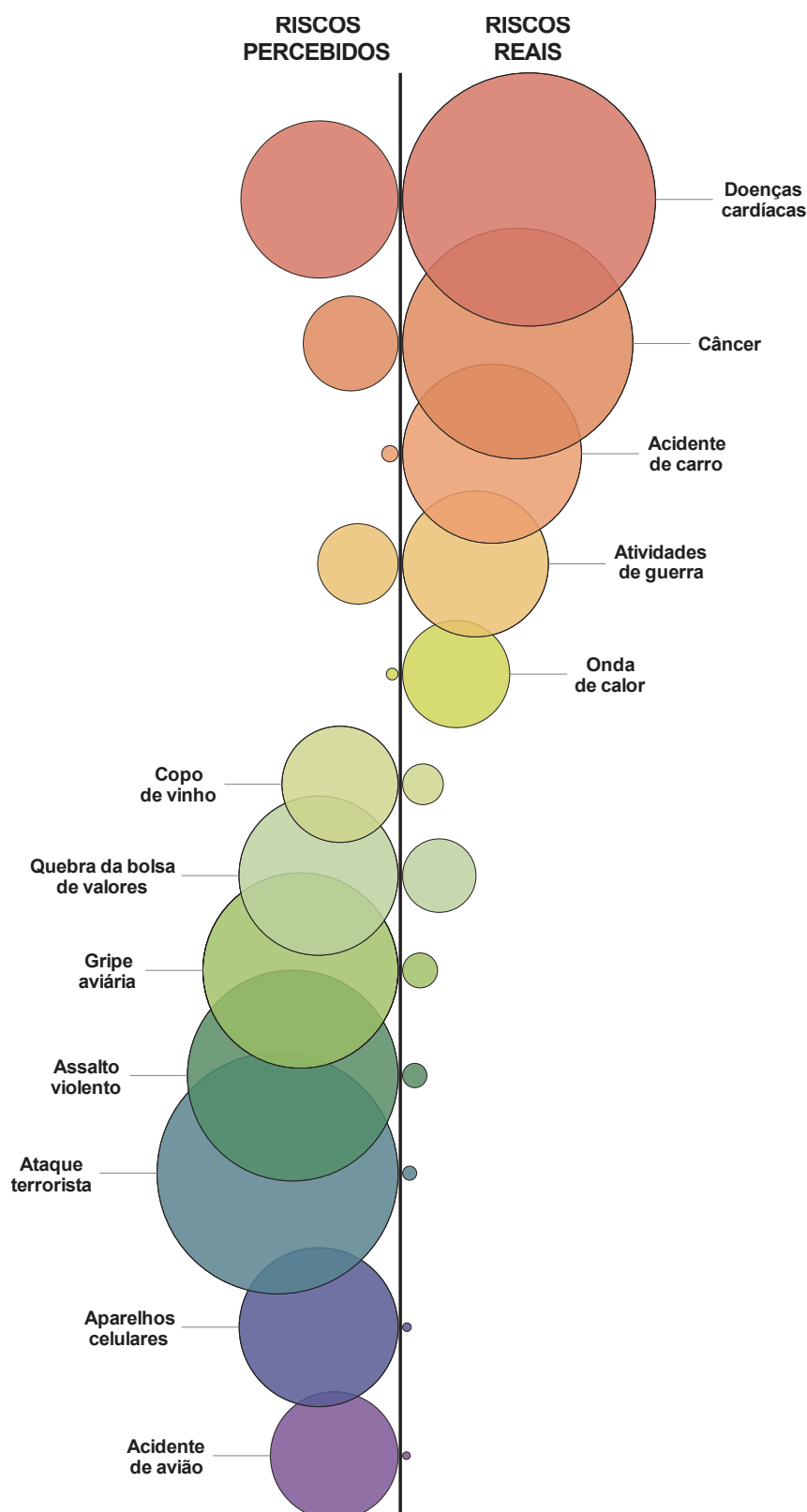
Enquanto analistas tecnologicamente sofisticados empregam avaliação de risco para avaliar perigos, a maioria dos cidadãos confia em julgamentos intuitivos de risco, normalmente chamados de “percepções de risco”. Para essas pessoas, a experiência com perigos tende a vir da mídia, que documenta de forma bastante completa os acidentes e ameaças que ocorrem em todo o mundo. A percepção dominante para a maioria dos cidadãos de muitas nações industrializadas (e que contrasta

fortemente com as opiniões dos avaliadores de risco profissionais) é que eles enfrentam mais riscos hoje do que no passado e que os riscos futuros serão ainda maiores do que os de hoje (SLOVIC, 1987).

O processo humano de julgamento e tomada de decisão envolve a análise de riscos. Em alguns tipos de situações, as pessoas apresentam algumas distorções do *risco percebido* em relação ao *risco real* de perigos ou ameaças. O risco percebido deturpado faz as pessoas reagirem exageradamente a epidemias, ataques terroristas, mudanças climáticas futuras, entre outros eventos extremos, mesmo quando seu risco pessoal seja infinitesimal; mas, ao mesmo tempo, prestam menos atenção a outras ameaças que são muito mais prováveis de prejudicá-las. Essas reações mal colocadas podem levar à estigmatização das pessoas, que passam a evitar as atividades diárias, dando início a um novo conjunto de problemas no topo de uma crise atual.

As pessoas não respondem diretamente aos riscos a que estão expostas; em vez disso, elas respondem às suas percepções desses riscos. Logo, o *risco percebido* quase nunca corresponde ao *risco real*. Observando o gráfico de bolhas a seguir (**Figura 233**): os *riscos percebidos* (círculos na área ao lado esquerdo da linha) representam o quanto as pessoas se preocupam com cada risco; e os *riscos reais* (círculos à direita da linha) representam o tamanho real do risco em termos de quantas pessoas são prejudicadas a cada ano. Perceba-se que, em muitos casos, existe uma grande disparidade entre o *risco percebido* e o *risco real*. Além das percepções equivocadas na avaliação de riscos, os riscos comuns do dia-a-dia são subestimados, enquanto que são superestimados os riscos tecnologicamente complicados e que não são facilmente controlados pelos indivíduos.

Diferentes ameaças pressionam diferentes “botões psicológicos”. Ameaças novas (COVID-19), exóticas (ebola ou a gripe aviária) ou desconhecidas (mudanças climáticas futuras) aumentam os níveis de ansiedade mais do que as ameaças mais conhecidas do cotidiano. Essa reação está relacionada com a amígdala no cérebro, que desempenha um papel na detecção de novidades, bem como no processamento do medo. Ao mesmo tempo, as pessoas costumam reagir mal a ameaças familiares. Por exemplo, a gripe adoece até 20% da população ao ano e mata milhares. No entanto, como a maioria das pessoas pegou a gripe e sobreviveu, ou conhece alguém que sobreviveu, as pessoas podem sentir menos urgência em tomar a vacina contra a gripe sazonal.



**Figura 233** – Proporções comparativas entre diferentes riscos percebidos (lado esquerdo) respectivos riscos reais (lado direito), indicando que as pessoas possuem percepções discrepantes da realidade. Fonte: adaptado de Takala et al., (2014).

Doenças conhecidas, mas com as quais as pessoas não têm experiência direta, também têm classificação inferior às novas ameaças em termos de risco percebido, o que

pode ser um fator por trás de recentes “campanhas anti-vacinação” e a relutância de alguns pais em vacinar seus filhos. Já passamos algumas gerações sem coqueluche e

varicela, então a sociedade não enxerga mais esses riscos hoje. Assim, alguns pais simplesmente acreditam que não precisam tomar medidas para proteger seus filhos contra um risco que é invisível para eles. É essa sensação de *risco imediato* que leva as pessoas a tomarem medidas preventivas diante do contágio. Após a pandemia de influenza H1N1 de 2009, a percepção de risco pessoal foi o fator mais influente na decisão de uma pessoa tomar a vacina, seguida por pressão social e comportamento anterior (LU, 2015).

O medo exagerado está intimamente ligado com a distorção da capacidade de análise de risco, isto é, quando o risco percebido é extraordinariamente superior ao risco real. Conforme visto antes<sup>448</sup>, o medo é um mecanismo adaptativo de defesa animal fundamental para a sobrevivência e envolve vários processos biológicos de preparação para uma resposta a eventos potencialmente ameaçadores. No entanto, quando o medo é crônico ou desproporcional, torna-se prejudicial e pode ser um componente-chave no desenvolvimento de vários transtornos psiquiátricos (GARCIA, 2017).

Para redução do pânico ou efeitos colaterais indesejados de riscos percebidos exagerados, é necessária uma construção coletiva sobre a conceituação do risco real. A forma da comunicação, governamental e jornalística, sobre eventos que remetem a riscos de perigos diversos possui fator determinante nos níveis de risco reais ao público. Logo, o uso exagerado de alarmismo, tende a repercutir de forma diretamente proporcional nos níveis de distorção do risco percebido.

A comunicação oportuna e honesta de uma fonte que um público considera confiável é essencial para conter o medo durante qualquer situação preocupante (epidemia, terrorismo, ou mudanças climáticas), mas os governos e os meios de comunicação têm a difícil tarefa de explicar o risco e dizer às pessoas como agir sem também espalhar um alarme excessivo. Infelizmente, na prática, a cobertura hiperbólica da mídia costuma exacerbar a gravidade da situação e, assim, a comunicação moderna permite que as pessoas tenham uma experiência mais íntima com uma ameaça que não é real. A mídia tem a tendência de divulgar comportamentos aberrantes, ajudando a perpetuar o mito de que as pessoas somente tendem a responder a uma crise por meio da instauração do pânico generalizado.

Mas a mídia pode ser uma aliada ao divulgar informações precisas e úteis. Focar no que as pessoas podem fazer para se proteger é particularmente importante para pessoas que são vulneráveis ao estresse e à ansiedade. As pessoas menos capazes de tolerar a incerteza em geral experimentaram mais ansiedade durante eventos trágicos, e também são menos propensas

a acreditar que podem fazer qualquer coisa para se proteger. Assim, dar às pessoas ações concretas e detalhadas a serem tomadas pode ajudar a reduzir o pânico e a reação exagerada quando surge uma nova ameaça.

### I.2.7.3. Amplificação social do risco

As percepções de risco desempenham um papel fundamental em um processo denominado *amplificação social do risco*. Tal gênero de ampliação ou reverberação é desencadeada pela ocorrência de um evento adverso, que pode ser um acidente maior ou menor, uma descoberta de poluição, um surto de doença, um incidente de sabotagem e assim por diante. A amplificação do risco reflete o fato de que os impactos adversos de tal evento às vezes se estendem muito além dos danos diretos às vítimas e à propriedade, podendo resultar em impactos indiretos massivos, como litígios contra uma empresa ou perda de vendas e aumento da regulamentação de uma indústria ou segmento. Em alguns casos, todas as empresas de um setor são afetadas, independentemente de qual empresa foi responsável pelo acidente. Uma característica importante da amplificação social é que os impactos diretos não precisam ser muito grandes para desencadear impactos indiretos importantes.

Parece provável que vários mecanismos contribuam para a amplificação social do risco. Em primeiro lugar, a ampla cobertura da mídia sobre um evento pode contribuir para percepções mais elevadas de risco e impactos amplificados. Em segundo lugar, um determinado perigo ou contratempo pode entrar na agenda de grupos sociais (partidários/ativistas) dentro da comunidade ou nação. Um terceiro mecanismo de amplificação surge da interpretação de eventos infelizes como pistas ou sinais sobre a magnitude do risco e a adequação do processo de gerenciamento de risco.

Na teoria da comunicação tradicional, a “amplificação” é definida como uma intensificação ou atenuação dos sinais transmitidos, resultando em um sinal alterado por informações adicionadas ou removidas antes de ser transmitido. A abordagem da mídia na amplificação social do risco foca no volume da cobertura, na sua tendência de dramatizar eventos, e na sua capacidade de simbolizar ou mediar a realidade. Assim, a cobertura midiática, como agente de *comunicação do*

<sup>448</sup> Cf. item “1.2.3. PREOCUPAÇÃO, MEDO E ANSIEDADE”, p. 479.

*risco*<sup>449</sup>, pode afetar a relevância de uma questão para o público, seja devido ao volume da cobertura ou à agenda que estabelece. Nesse sentido, mídias de notícias tem sido tradicionalmente consideradas como “estações de amplificação” significativas: elas são entidades com o poder de filtrar, amplificar ou atenuar sinais de risco de maneiras que coincidem com a capacidade de definir agendas e enquadrar questões. Atualmente, a mídia social também pode ser considerada uma estação de amplificação. Tal como acontece com a mídia tradicional, as mensagens que circulam nas redes sociais podem refletir altos e baixos semelhantes na atenção a um problema (FELLENOR et al., 2018).

Um dilema nas sociedades contemporâneas é a necessidade de usar a análise de risco para elaborar políticas públicas e a inabilidade dos conceitos sobre risco em antecipar e explicar a natureza da resposta pública a ele. Na amplificação social do risco, os principais focos são a percepção e a comunicação de risco. Assume-se que a percepção de risco é, sobretudo, determinada pela forma como ele é comunicado através da mídia e de outras fontes. A análise de como essas informações são

comunicadas poderia explicar, assim, a amplificação ou a atenuação das preocupações relacionadas a determinado risco (GIULIO et al., 2015).

O potencial de informação ou “sinal” de um acidente – e, portanto, seu impacto social potencial – parece estar sistematicamente relacionado às características percebidas do perigo. A **Tabela 12** elenca os principais aspectos atenuantes e intensificadores da percepção de risco, fatores que influenciam na forma estranhamente irracional que as pessoas têm na hora de avaliar o risco no mundo ao redor. Então, com base em tais fatores, um acidente que tira muitas vidas pode produzir relativamente pouca perturbação social (além daquela causada às famílias e amigos das vítimas) se ocorrer como parte de um sistema familiar e bem compreendido (por exemplo, um desastre de trem). No entanto, um pequeno incidente em um sistema desconhecido (ou percebido como mal compreendido), como um repositório de lixo nuclear ou um laboratório de DNA recombinante, pode ter imensas consequências sociais se for percebido como um prenúncio de acidentes futuros e possivelmente catastróficos (SLOVIC, 2010).

**Tabela 12** – Aspectos psicológicos que atenuam ou intensificam a percepção de risco.

Atenua a percepção de risco	Intensifica a percepção de risco	Aspecto
Familiar	Exótico	<b>Familiaridade:</b> riscos novos são percebidos como mais perigosos do que ameaças mais familiares. É por isso que o vírus do Nilo Ocidental pode ser percebido como um risco maior para a saúde do que não testar um detector de fumaça regularmente. Fatores que contribuem com a familiaridade: observável/não observável; exposição conhecida/desconhecida; efeito imediato/demorado; risco antigo/novo; risco conhecido/desconhecido pela ciência.
Controle individual	Controlado por outros	<b>Controle:</b> o controle percebido sobre os resultados também é importante. Isso ajuda a explicar por que alguém não tem medo de dirigir um carro – embora acidentes automobilísticos matem milhares de pessoas a cada ano – mas pode ter medo de voar em um avião.
Natural	Produzido pelo homem	<b>Origem:</b> os perigos da natureza – como a exposição ao Sol – são percebidos como relativamente benignos, enquanto os danos causados pelo homem – acidentes com energia nuclear ou ataques terroristas – são mais ameaçadores.
Crônico/estatístico	Catastrófico	<b>Magnitude:</b> os eventos catastróficos, capazes de matar muitas pessoas ao mesmo tempo, são mais assustadores do que as condições crônicas – que podem matar a mesma quantidade de pessoas, mas por um período mais longo. Isso ajuda a explicar por que um tsunami ou terremoto parece mais assustador do que doenças cardíacas ou diabetes.
Benefícios claros	Pouco ou nenhum benefício	<b>Risco x benefício:</b> quanto mais percebemos um benefício de algo potencialmente perigoso, como cigarro, bebida alcoólica, vacinas, esqui ou <i>bungee jumping</i> , menos se teme o risco.
Distribuído de maneira igual	Distribuído de maneira desigual	<b>Vítima preferencial:</b> um risco tornado real por uma vítima específica, como sequestros de crianças que viram notícias, torna-se mais assustador, embora o risco real possa não ser maior do que era antes de ser personificado por essa categoria de vítima.

<sup>449</sup> A *comunicação de risco* (o que poderia acontecer) não deve ser confundida com a *comunicação de crise* (o que está acontecendo). No tocante às mudanças climáticas,

o exagerado uso do termo *crise climática* ou *emergência climática* pode confundir a realidade atual com os riscos de impactos futuros.

Voluntário	Imposto	<b>Escolha:</b> as pessoas ficam menos preocupadas com os riscos em que incorrem do que com os que os outros lhes impõem. Temos muito mais medo de um risco que nos é imposto (o motorista do carro ao nosso lado dirigindo e usando seu celular) do que quando nos expomos voluntariamente ao mesmo risco (quando estamos usando um celular enquanto dirigimos).
Informações de fontes confiáveis	Informações de fontes não confiáveis	<b>Confiança:</b> quando as pessoas confiam nos governos, políticos, funcionários, autoridades, cientistas ou jornalistas que fornecem informações sobre um risco específico – ou no processo usado para avaliar o risco –, elas tendem a ter menos medo do que quando não confiam nessas pessoas ou no processo.
Não está na mídia	Está na mídia	<b>Visibilidade:</b> a saturação da cobertura da mídia sobre desastres de alta repercussão aumenta a percepção de riscos específicos mais do que outros. Da mesma forma, um evento próximo ou perto de casa, como ter um amigo com diagnóstico de câncer, aumenta a percepção de risco.
Simple	Complicado	<b>Complexidade:</b> quanto mais difícil é entender um risco potencial – como energia nuclear ou produtos químicos industriais – provavelmente mais medo provoca. E quando o risco é invisível, o medo fica ainda pior.
Visível	Invisível	<b>Imaginação:</b> quando as ameaças são invisíveis, imperceptíveis, intangível, abstratas ou incompreensíveis, as pessoas ficam confusas sobre a natureza do risco e o evento se torna mais assustador.
Certo/ conhecido	Incerto/ desconhecido	<b>Incerteza:</b> isso é menos uma questão de a ciência ser difícil de entender e mais uma questão de não ter respostas suficientes. Esse fator explica o medo generalizado de novas tecnologias e por que, à medida que as respostas chegam (adoçantes artificiais, campos elétricos e magnéticos, alimentos transgênicos), o medo diminui.
Inofensivo	Mortal	<b>Medo:</b> eventos que invocam pavor – como afogar-se ou ser comido vivo por um tubarão – assustam mais as pessoas do que aqueles que são considerados mais inofensivos (como a dengue causada pelo mosquito <i>aedes aegypti</i> ).
Atinge adultos	Atinge crianças	<b>Idade afetada/gerações futuras:</b> os riscos são mais assustadores quando afetam as crianças. O amianto em um prédio escolar, por exemplo, pode assustar mais as pessoas do que em uma fábrica.
Atinge outras pessoas (coletivo)	Atinge a mim (individual)	<b>Proximidade (“Isso me afeta?”):</b> Se eu puder ser uma vítima, a importância do risco parece maior do que realmente é. Não percebemos o risco para “os outros”, para a sociedade, com tanto medo quanto percebemos os riscos para nós mesmos. Isso explica o desejo de risco zero. Uma pessoa não se importa se o risco de câncer decorrente de agrotóxicos em alimentos é baixo (de um em um milhão, por exemplo), pois a simples chance de ela ser a vítima (ainda que remota) já transmite a sensação de risco.

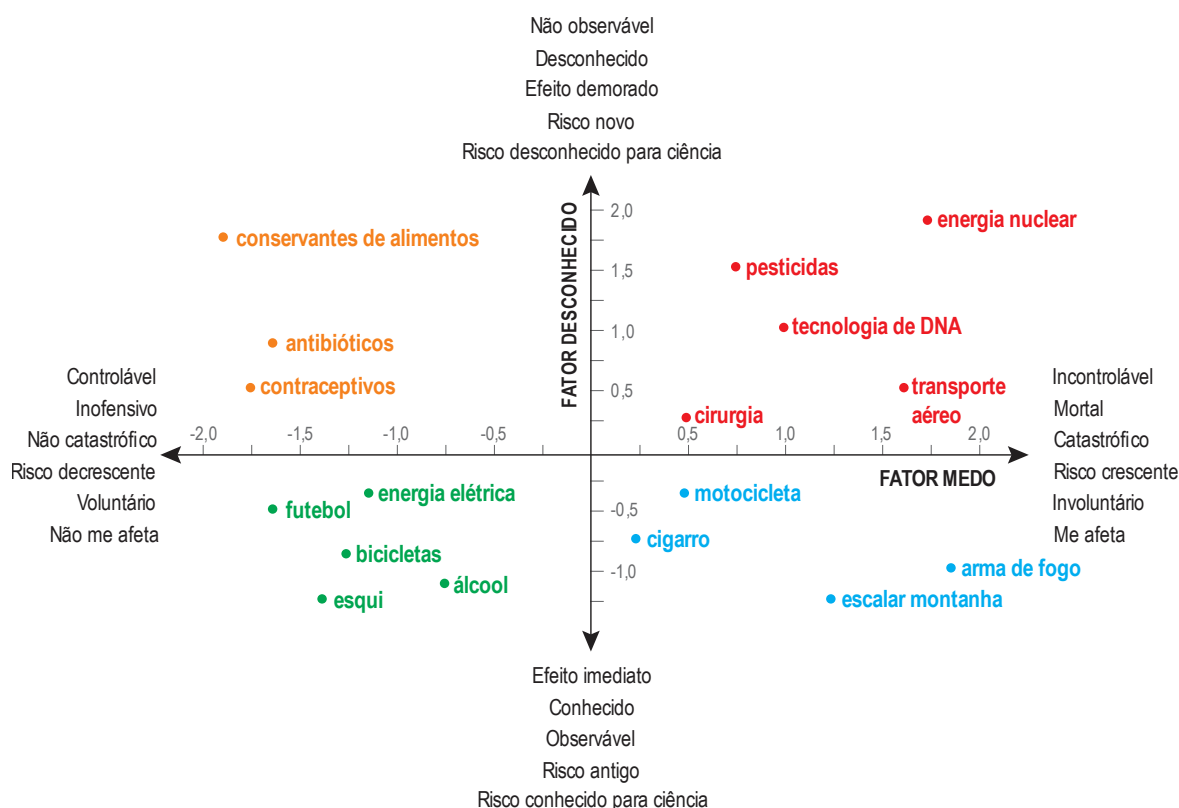
Fonte: elaborado com base em: Ropeik (2002a); Schmidt (2004); Adler e Kranowitz (2005); e Harvard Medical School (2011).

Na **Figura 234**, apresenta-se um mapa cognitivo de medição da percepção de risco, obtido por método de pesquisa quantitativa de opinião pública com base no paradigma psicométrico. O mapa cognitivo usa um sistema de coordenadas que expressa a avaliação das pessoas sobre diferentes tipos de riscos. O sistema de coordenadas consiste em dois fatores determinantes: o eixo vertical corresponde ao *fator desconhecido* (não observável, desconhecido etc.) e *fator medo* (incontrolável, mortal etc.). Na figura original de Fischhoff et al. (1978), não consta nada que remeta aos riscos das *mudanças climáticas*. Uma atualização do artigo original (FOX-GLASSMAN; WEBER, 2016) chega a comentar que ainda carecem pesquisas que permitam avaliar as mudanças climáticas como um risco terrível, faltando demonstrar se elas inspiram alguma reação de terror e em qual proporção seria em relação aos demais riscos ambientais e tecnológicos.

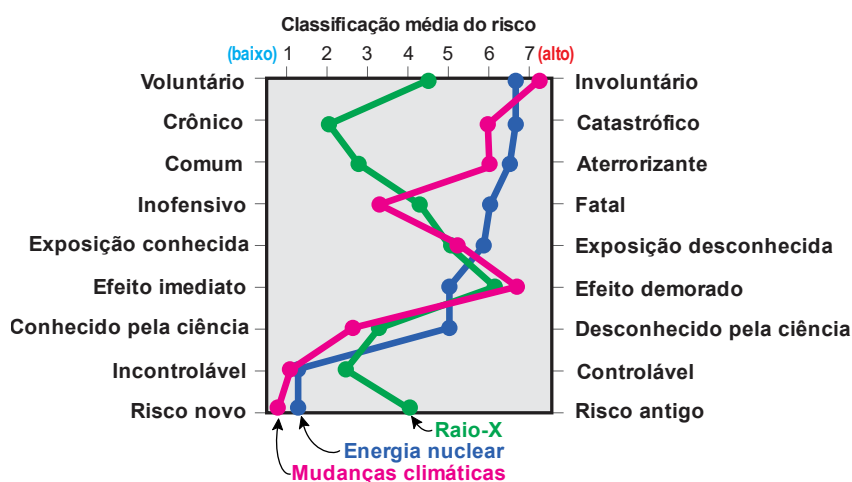
Alternativamente, uma maneira útil de resumir os vários fatores é por meio de “perfis de risco”, em que cada aspecto do risco é pontuado em uma *escala Likert*<sup>450</sup>. A **Figura 235** mostra perfis com a classificação de riscos da *energia nuclear* e *raios-X*, com base em estudos empíricos, juntamente com um perfil sugerido para as *mudanças climáticas*. Com a exceção de ser classificada como mais inofensiva (menos fatal), o restante do perfil de riscos das *mudanças climáticas* é visualmente semelhante ao perfil da *energia nuclear*, perigo geralmente mal visto pelas pessoas por apresentar diversos e elevados tipos de riscos. Apesar da relativa equiparação de perfis, deve-se atentar que existe uma grande diferença essencial entre os três perigos: as mudanças climáticas são consideradas como um perigo que se espera ocorrer no futuro, enquanto os outros são vistos como existindo tanto em um contexto histórico e atual (e em alguns casos futuros).

<sup>450</sup> Uma *escala Likert* é uma escala psicométrica comumente envolvida em pesquisas que empregam questionários. É a abordagem mais amplamente usada para

dimensionar as respostas em pesquisas de opinião, de modo que o termo é frequentemente usado de forma intercambiável com uma escala de classificação.



**Figura 234** – Mapa cognitivo de medição da percepção de alguns tipos de riscos, estes localizados de acordo com dois fatores: desconhecido (eixo vertical); e medo (eixo horizontal). Fonte: Adaptado de Fischhoff et al. (1978); e Meng et al. (2013).



**Figura 235** – Características qualitativas dos riscos percebidos de três perigos: mudança climática, energia nuclear, raio-X. Na classificação do risco (escala superior), o número 1 indica um risco percebido baixo, e 7 um risco alto. Fonte: adaptado de Etkin e Ho (2007).

A maioria das histórias sobre questões ambientais, incluindo as mudanças climáticas, envolve riscos. Frequentemente, as percepções levam à ação mais do que evidências reais, sendo importante saber distinguir entre o interesse da mídia, a atenção do público e as evidências reais para políticas e práticas.

A mídia, incluindo a mídia social, é vital para a comunicação do risco. Os repórteres que cobrem tais histórias sabem que o medo público desses riscos muitas vezes excede o que os especialistas neutros afirmam ser o perigo real. Claro, os medos geralmente são apresentados de forma proeminente

na cobertura: intimações de perigo e citações repletas de paixão animam qualquer história. Menos proeminente, ou totalmente ausente, é o reconhecimento da lacuna entre o medo e o fato. Os mesmos fatores de percepção de risco que desencadeiam o medo nos consumidores da notícia despertam, também, o interesse nas pessoas que a noticiam. Para os repórteres, esses “fatores de medo” são características de uma história que tem mais chances de chegar à primeira página ou ao topo de um noticiário. Para editores e produtores ávidos por aumentar o número de leitores ou espectadores, esses fatores identificam histórias que podem chamar mais atenção.

Imagine uma história sobre um risco causado pelo homem que é imposto às pessoas, afeta crianças, envolve uma forma terrível de morrer e uma agência governamental ou funcionários em quem ninguém confia. Para a maioria dos jornalistas, esses são os elementos de uma grande notícia, mesmo que o risco real envolvido seja insignificante. O perigo é que os jornalistas podem ser tão seduzidos por esses fatores de medo da percepção de risco subconsciente que os aumentam e não conseguem qualificar o quão grande ou pequeno, certo ou não, é o risco real. Considere, por exemplo, os fatores de percepção de risco por trás do medo comum de produtos químicos: eles são feitos pelo homem; o risco envolve um resultado terrível (como o câncer); o risco é imposto às pessoas; vem de uma fonte (indústria) na qual as pessoas não confiam. Todos esses fatores de percepção de risco, que tornam as pessoas mais temerosas, também tornam os repórteres e jornalistas mais propensos a enfatizar aqueles aspectos dramáticos da história. Eles também tornam o trabalho de divulgação menos equilibrado do que deveria. Os fatores que influenciam na percepção de risco explica por que as

imaginações das pessoas muitas vezes não correspondem aos fatos, e também por que os aspectos emocionais das histórias de risco são tão atraentes para os jornalistas, muitas vezes em detrimento da cautela e do equilíbrio (ROPEIK, 2002b).

#### I.2.7.4. Estimativas dos riscos globais

Uma parte crucial de tornar o mundo mais seguro é compreender a gama de riscos que as pessoas enfrentam e como elas os veem. Nesse sentido, o *Relatório da Pesquisa Mundial de Risco*<sup>451</sup> da Lloyd's Register Foundation (2019), que entrevistou 150 mil pessoas em 142 países, fornece uma primeira imagem global de como os cidadãos do mundo veem o risco e a segurança e as diferenças entre a percepção do risco e a experiência real. Na pesquisa do citado relatório, foi pedido às pessoas que, com suas próprias palavras, identificassem a primeira e a segunda maior fonte de risco para sua segurança em suas vidas diárias. A **Figura 236** mostra os resultados combinados da primeira e da segunda maiores ameaças percebidas à segurança em todo o mundo. Os acidentes rodoviários foram mais comumente mencionados, com quase um em cada quatro (24%) citando este risco, seguido por riscos relacionados ao crime ou violência (19%) e problemas de saúde (18%). Além disso, cerca de uma em cada seis pessoas em todo o mundo disse que as finanças pessoais (8%) ou as condições econômicas gerais (9%) foram a primeira ou a segunda maior fonte de risco em suas vidas diárias. Na oitava posição, “mudanças climáticas/desastres naturais/eventos relacionados ao clima” (em destaque vermelho na figura) foi uma fonte de risco citada por 6% das pessoas entrevistadas.

<sup>451</sup> <https://wrp.lrfoundation.org.uk/>



**Porcentagem (%) em todo o mundo que nomeia cada risco como sua primeira ou segunda resposta**



**Figura 236** – Lista das maiores fontes de risco para a segurança das pessoas em suas vidas diárias, conforme pesquisa de opinião mundial. Fonte: adaptado de Lloyd's Register Foundation (2019), p. 29.

Outra fonte de dados apresenta um resultado diferente. O *Relatório de Riscos Globais 2020*<sup>452</sup> do Fórum Econômico Mundial, os entrevistados<sup>453</sup> da pesquisa de percepção de riscos globais “soaram o alarme climático”, classificando as mudanças climáticas e as questões

ambientais relacionadas como os cinco principais riscos em termos de probabilidade (**Figura 237**). No *Relatório de Riscos Globais 2021*<sup>454</sup>, a pandemia da COVID-19 assumiu o protagonismo como o risco com maior impacto de todos.

<sup>452</sup> <https://www.weforum.org/reports/the-global-risks-report-2020>

<sup>454</sup> <https://www.weforum.org/reports/the-global-risks-report-2021>

<sup>453</sup> A amostra de entrevistados foi cerca de mil pessoas, maioria da Europa e América do Norte. O perfil profissional majoritário das pessoas estava ligado ao segmento empresarial (setores econômicos e de negócios).

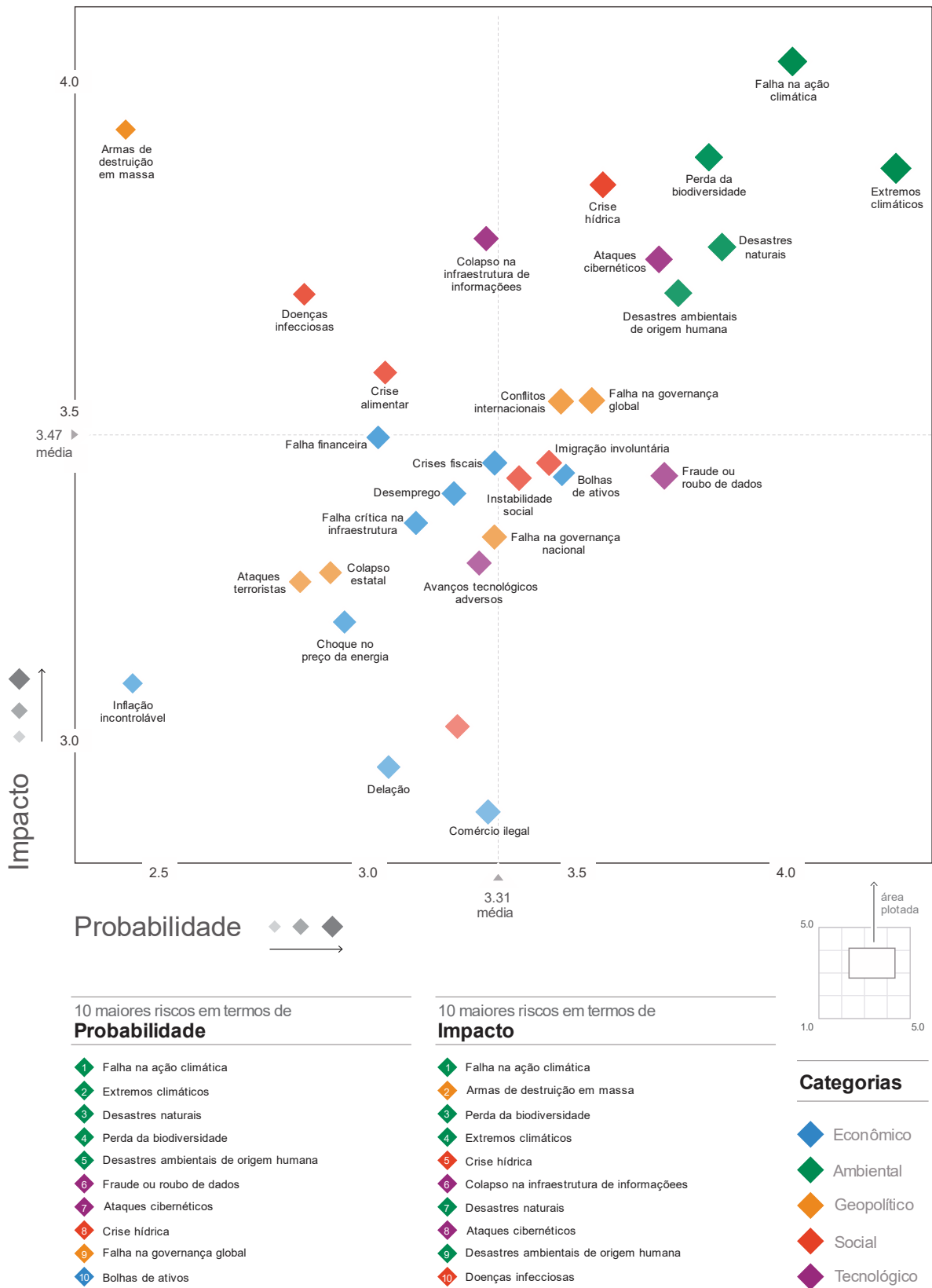


Figura 237 – Cenário de riscos globais, com localização dos perigos de acordo com os respectivos impactos e probabilidades, conforme pesquisa empresarial de 2020. Fonte: adaptado de World Economic Forum (2020).

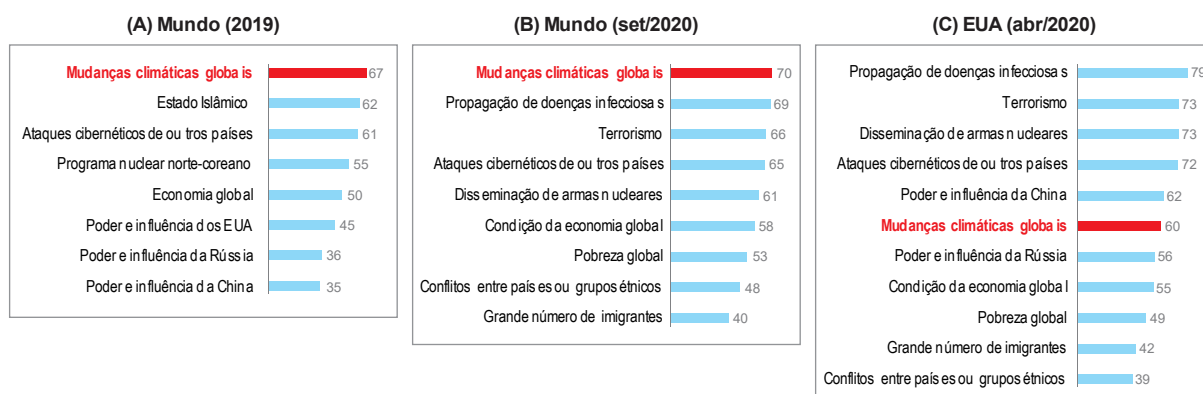
Pesquisas de opinião recentes (POUSHTER; HUANG, 2019; POUShTER; HUANG, 2020; POUShTER; FAGAN, 2020) do *Pew Research Center*

indicam que as mudanças climáticas são consideradas um dos problemas mais graves no mundo. Pela **Figura 238**, nota-se que, seja antes (2019) ou depois (2020) da

pandemia COVID-19, o tópico *mudanças climáticas globais* foi escolhido como o maior problema grave em todo mundo. Já nos EUA, logo após o início da pandemia

(abr/2020), a *propagação de doenças infecciosas* liderou a lista, e as mudanças climáticas ficaram na sexta colocação no *ranking* dos problemas mais graves.

**Porcentagem (%) que diz que é um problema grave para seu país**



**Figura 238** – Percepção de riscos das pessoas, conforme listagem de priorização da gravidades dos problemas no mundo [(A), em 2019; e (B), em set/2019] e nos EUA [(C), abr/2020]. Elaborado, respectivamente, com base em Poushter e Huang (2019), Poushter e Huang (2020) e Poushter e Fagan (2020).

O episódio da COVID-19 foi considerado em relatórios do *Eurasia Group*, consultoria que publica anualmente uma lista dos “10 maiores riscos” do ano, com foco em conjecturas políticas para negócios e investimentos. Na primeira edição de 2020 (EURASIA GROUP, 2020a), sem considerar a pandemia, ficou em 7º lugar o tema “*política x economia das mudanças climáticas*”, a qual teve a seguinte anotação: “a política das mudanças climáticas não está funcionando. Dezenas de países assinaram o acordo de Paris há cinco anos para limitar o aquecimento a 2 °C até o final do século. Mas, até o momento, os estados-nação não conseguiram implementar políticas que chegassem perto de atingir esse objetivo. Este ano, esse fracasso levará a tomadas de decisão corporativas abaixo do ideal, interrupções de negócios operacionais e instabilidade política”. Uma edição extra foi publicada em mar/2020 (EURASIA GROUP, 2020b) para considerar o advento da pandemia da COVID-19. Em resumo, o novo relatório registrou que o foco global no coronavírus iria capturar a atenção dada às mudanças climáticas e que investidores buscariam a recuperação acima de tudo, reduzindo investimentos em projetos “verdes”. Além disso, alertou que a queda dos preços do petróleo prejudicaria a competitividade de fontes alternativas de energia mais limpas. Por fim, a edição de 2021 (EURASIA GROUP, 2021) dos “10 maiores riscos” elevou as mudanças climáticas para 3ª posição, demonstrando otimismo em virtude do reingresso

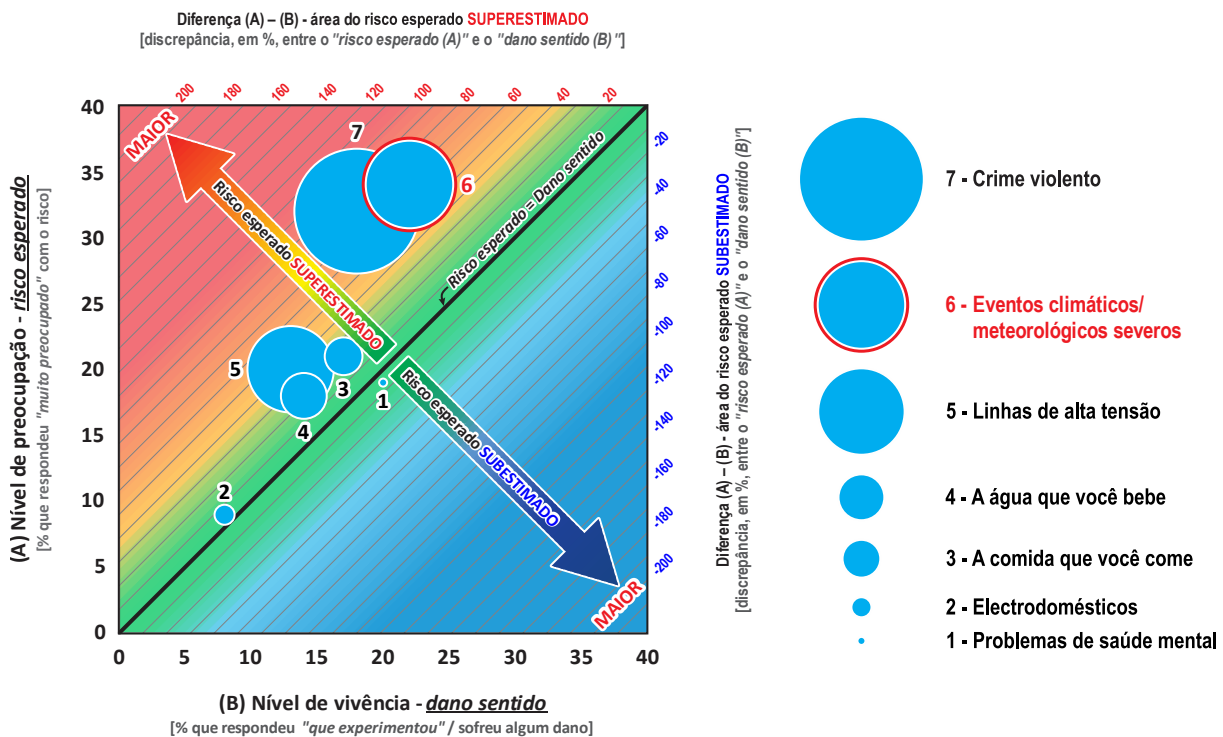
dos EUA Acordo de Paris, bem como metas ambiciosas e ações climáticas anunciadas pelo governo do recém-empossado presidente norte-americano, Joe Biden.

Em geral, as pessoas tendem a avaliar os riscos de segurança por meio de lentes subjetivas. Elas consideram fatores pessoais ao avaliar a probabilidade ou a gravidade de serem feridas por um risco específico, incluindo se elas, ou alguém que conhecem, já foram prejudicados por esse risco antes. Profissionais de segurança e especialistas em estatística, no entanto, normalmente usam dados e análises para avaliar o risco. Em muitos casos, a lacuna entre a abordagem “instintiva” das pessoas e uma que é mais analítica e orientada por dados resulta em diferentes atitudes em relação ao risco. Para preencher essa lacuna, os especialistas técnicos precisam entender melhor como e por que as pessoas percebem os riscos de maneira diferente. Retomando o *Relatório da Pesquisa Mundial de Risco* (LLOYD’S REGISTER FOUNDATION, 2019), nele também foram examinados os fatores que parecem influenciar a preocupação das pessoas com as várias fontes de risco, suas percepções da probabilidade de serem prejudicadas e suas experiências de serem prejudicadas. Em uma das análises, perguntou-se: “Em geral, você está preocupado com a possibilidade de o [risco] causar danos graves a você? Você está muito preocupado, um pouco preocupado ou não está preocupado? Você ou alguém que você conhece

pessoalmente sofreu danos graves de [dano do associado ao risco] nos últimos dois anos?”. Com base nas respostas, foi elaborada a **Figura 239**, na qual: o eixo vertical à esquerda representa o “(A) nível de preocupação – *risco esperado*”; o eixo horizontal inferior representa o “(B) nível de vivência – *dano sentido*”; e os círculos representam as diferenças entre os dois valores, tendo as respectivas áreas proporcionais a essas diferenças (quanto maior o círculo, maior a diferença percentual); na parte superior, a escala indica valores positivos para a diferença entre (A) e (B), em termos percentuais, representando que o risco esperado é superestimado; na lateral à direita, a escala indica valores negativos para a diferença entre (A) e (B), em termos percentuais, representando que o risco esperado é subestimado; a reta diagonal indica o local em que a diferença entre (A) e (B) é nula (ou seja, são iguais) e, a partir dessa linha, o *dégradé* sofre transição para tons de amarelo/laranja/vermelho, indicando áreas em que a diferença entre o risco esperado em relação ao dano sentido está superestimada; e, no sentido oposto, o *dégradé* sofre transição para tons azulados, indicando áreas em que a diferença entre risco esperado em relação ao dano sentido está subestimada.

Assim, observando o círculo “7 – Crime violento”: o *risco esperado* tem valor igual a 32; o *dano sentido* é igual a 18; e a diferença (32-18) é igual a 14. Ou seja, o risco esperado está superestimado em relação ao dano sentido, e o valor correspondente dessa diferença em termos percentuais é de quase 80%. A mesma lógica se aplica ao caso do círculo “6 – Eventos climáticos/meteorológicos severos”: o *risco esperado* tem valor 34; o *dano sentido* é igual a 22; e a diferença (34-22) é igual a 12. Assim, o risco esperado está superestimado em relação ao dano sentido, sendo essa diferença na ordem de 55%. Complementarmente à análise gráfica, na **Tabela 13** são apresentados os respectivos valores numéricos.

Pelo análise gráfico da retrocitada figura, pode-se concluir que, no geral, as pessoas do mundo todo se preocupam mais com os riscos do que de fato vivenciam ou entram em contato direto com os respectivos riscos. A única exceção a essa regra é o fato de as pessoas não esperarem ficar doentes (círculo “1 – Problemas de saúde mental”), mas declararem que entram em contato mais do que o esperado; isto é, o risco esperado da doença mental é subestimado em relação ao risco real.



**Figura 239** – Diferenças entre *riscos esperados* e respectivos *danos sentidos* para diferentes tipos de perigos. Fonte: elaborado com base em dados retirados de Lloyd’s Register Foundation (2019), p. 62.

**Tabela 13** – Distorção na percepção entre *dano sentido* e *risco esperado* para diferentes tipos de perigos

Perigo	(A) Nível de preocupação <sup>(1)</sup>	(B) Grau de vivência <sup>(2)</sup>	Diferença (A) – (B) <sup>(3)</sup>		Percepção do risco
			Absoluta	Percentual	
Crime violento	32	18	14	78%	Superestimada
Eventos climáticos/meteorológicos severos	34	22	12	55%	Superestimada
Linhas de alta tensão	20	13	7	54%	Superestimada
A água que você bebe	18	14	4	29%	Superestimada
A comida que você come	21	17	4	24%	Superestimada
Eletrodomésticos	9	8	1	13%	Superestimada
Problemas de saúde mental	19	20	-1	-5%	Subestimada

<sup>(1)</sup> Porcentagem que respondeu “muito preocupado” com o risco;

<sup>(2)</sup> Porcentagem que respondeu “que experimentou” (teve contato com o risco);

<sup>(3)</sup> Discrepância entre o risco “esperado” o respectivo dano “vivido”.

Fonte: elaborado com base em dados retirados de Lloyd’s Register Foundation (2019), p. 62.

As diferenças entre *riscos esperados* e respectivos *danos sentidos* para diferentes tipos de perigos demonstram a tendência geral das pessoas possuírem percepções superestimadas dos riscos. Parte desse fenômeno pode ser explicado por um fator de se solidarizar com os sofrimento e danos sofridos com outras pessoas (empatia) e da sensação de *proximidade*<sup>455</sup> (fator de intensificação, conforme citado na **Tabela 12**).

Ainda pelo gráfico, nota-se que o círculo “7 – Eventos climáticos/meteorológicos extremos” está localizado bem próximo ao círculo “6 – Crime violento”. Tal proximidade representa a alta similaridade<sup>456</sup> entre o sensacionalismo praticado em ambos temas midiáticos de grande visibilidade, respectivamente: o alarmismo sobre o aquecimento global e as mudanças climáticas, e o espetacularização exagerada sobre o cotidiano de crimes e violências nas cidades.

A simplicidade da pesquisa, nesse caso, deu margem a incluir, na opinião direcionada das pessoas, eventos não só eventos meteorológicos de curto prazo, que fazem parte do cotidiano, mas também deve ter incorporado o

sentimento de aflição e de preocupação sobre riscos futuros do clima, de hipotéticas situações distantes décadas de hoje, em cenários que habitualmente chegam ao ano de 2100. Portanto, a pesquisa parece refletir uma sensação concreta sobre um risco potencial do clima no futuro. É justamente esse efeito causado pelo jornalismo e diversas mídias quando são disparadas volumosas notícias apelativas, com cenários amedrontadores de um severo aquecimento global no futuro: hoje, muitas pessoas sentem cruéis e exagerados medos por algo que está longe e pode ser que não aconteça na proporção devastadora que muitos costumam pregar.

Nitidamente, da mesma forma que todos os meios (jornalísticos, científicos e educacionais) possuem elevado poder de informar e ensinar as pessoas, eles também podem confundir, desinformar e deturpar o senso do risco percebido das pessoas, quando adotam linhas tendenciosas e comportamentos sensacionalistas. Logo, as mesmas estratégias utilizadas há bastante tempo no noticiamento de crimes, atos violentos e tragédias tem sido utilizado no campo da divulgação da temática climática<sup>457</sup>.

<sup>455</sup> Os efeitos psicológicos negativos associados a eventos trágicos não se limitam somente às pessoas que sofreram perdas diretas. Por exemplo, estima-se que até metade dos sobreviventes do furacão Katrina desenvolveram transtorno de estresse pós-traumático, mesmo quando não sofreram perdas físicas diretas. Os sentimentos de perda que seguem eventos catastróficos, incluindo uma sensação de perda de segurança, podem corroer o bem-estar coletivo da comunidade e minar ainda mais a resiliência da saúde mental (RHODES; CHAN, 2010).

<sup>456</sup> É um fato interessante observar que o nível de preocupação entre os riscos “6 – Crime violento” e “7 – Eventos climáticos/meteorológicos extremos” são relativamente próximos. Na prática, poderia-se dizer que, da mesma forma que as pessoas se preocupam em ficar atentas para não se tornarem vítimas de atos violentos durante o dia-a-dia, o mesmo nível de esforço mental/psicológico é gasto para se manterem atentos a eventos climáticos e meteorológicos extremos. É como equiparar que as pessoas têm o mesmo nível de medo de chuvas fortes, enchentes, furacões, tornados, ondas de calor, aumento do nível do mar, etc. quanto tem de se tornarem alvos de assaltos, vítimas de assassinatos, sequestros etc. No entanto, nesse ponto, o bom

senso leva a crer que talvez exista, na verdade, um relato exagerado das pessoas sobre suas preocupações com o clima e o tempo meteorológico (conceitos distintos, mas que foram tratados em conjunto na pesquisa). Ou seja, não é razoável conceber que uma pessoa saia de casa para trabalhar, passar o dia fora, e fica pensando em se manter constantemente em alerta sobre algum evento climático/meteorológico adverso inesperado, na mesma proporção do que ela já está acostumada a prestar atenção por onde anda, para evitar se expor a situações de risco de assaltos, por exemplo. Sobre eventos meteorológicos como chuva, neve, entrada de uma frente fria (queda de temperatura), uma pessoa comum se atenta a, no máximo, levar um guarda-chuvas e/ou um agasalho apropriado para cada ocasião, ou evitará sair de casa em situações mais sérias (furacões, tornados, nevascas, tempestades, ondas de calor extremo).

<sup>457</sup> Uma breve busca no *Google* pelas palavras “sensacionalismo notícias violência” retorna diversos trabalhos científicos (artigos, teses, dissertações) com enfoque nas notícias criminalísticas. Existe aqui um campo com forte potencial de investigação, em que é possível traçar um paralelo entre os sensacionalismos na cobertura de casos criminais e de assuntos climáticos.

### I.2.7.5. Pessoas mais vulneráveis aos alertas de riscos/perigos

Todo exagero na divulgação de eventos catastróficos pode implicar efeitos devastadores na saúde, nos lares e nos meios de subsistência das pessoas e impactar diretamente a saúde psicológica e o bem-estar. É importante entender as respostas à ansiedade em parte por causa da gama de pacientes em potencial: qualquer pessoa que conheça as mudanças climáticas – em outras palavras, dado o alcance da tecnologia de comunicação, quase todos hoje – pode ser afetado pela ansiedade climática, independentemente de sua vulnerabilidade pessoal ou segurança relativa.

De acordo com um relatório de 2012 da Federação Nacional da Vida Selvagem dos EUA (COYLE; SUSTEREN, 2012), cerca de 200 milhões de americanos estarão expostos a sérios problemas psicológicos de eventos e incidentes relacionados ao clima: A gravidade dos sintomas pode variar, mas em muitos casos o sofrimento será grande. Entre alguns dos principais segmentos da sociedade dos Estados Unidos, estão mais vulneráveis psicologicamente agora:

- **Crianças:** 70 milhões de crianças nos Estados Unidos não apenas sofrerão os efeitos de longo prazo das mudanças climáticas, mas também sofrerão reações agudas a desastres naturais e eventos climáticos extremos. Algumas crianças já estão ansiosas com o aquecimento global e começam a ficar obcecadas com o futuro, indiferentes às pequenas garantias que os adultos podem tentar dar.
- **Pessoas com problemas de saúde mental pré-existent:** cerca de 20% de norte-americanos (60 milhões de pessoas) que atualmente sofrem de distúrbios psicológicos de vários níveis de gravidade enfrentarão desafios adicionais quando confrontados com os cenários apocalípticos das mudanças climáticas.

Segundo Clayton (2020), pesquisas confirmam que a ansiedade climática é particularmente prevalente entre adultos jovens. Nos EUA, em 2019, descobriu-se que 57% dos adolescentes disseram que as mudanças climáticas os deixam com medo. Pesquisas em todo o mundo indicam que a maioria das crianças mais velhas sabe algo sobre as mudanças climáticas e está mais interessada e preocupada do que os adultos, com algumas delas relatando que é uma fonte de preocupação ou estresse. Ojala (2012a), que estudou as respostas das crianças às mudanças climáticas, discute as diferenças de desenvolvimento que podem afetar sua resposta: em particular, elas têm menos controle sobre seu próprio comportamento. Também é possível que adolescentes

mais velhos e adultos jovens, em comparação com adultos mais velhos, estejam pensando mais em planos para o futuro. Como alternativa, eles podem ter mais tempo para pensar sobre questões sociais mais amplas, enquanto os adultos se concentram nas obrigações do dia a dia.

Embora alguns líderes e ativistas climáticos possam obter benefícios psicológicos do alarmismo climático, as evidências sugerem que muito mais pessoas são prejudicadas por ele, incluindo os próprios alarmistas. Nesse sentido, Craps (2020) complementa que especialmente dois grupos enfrentam riscos de saúde mental particularmente elevados: cientistas do clima e ativistas, que passam seus dias imersos em informações deprimentes, muitas vezes enfrentando apatia e hostilidade. Artigos na imprensa popular chamaram a atenção para a situação psicológica desses grupos. Em um desses casos, o supracitado autor relata que uma cientista do IPCC havia anunciado que tinha ficado “profissionalmente deprimida” como resultado de sua pesquisa sobre mudança climática. Outro caso envolve um meteorologista e jornalista que revelou seus sentimentos de tristeza e desespero com a destruição ambiental. Além disso, um *site* reúne cartas escritas à mão de dezenas de cientistas do clima, descrevendo como estão sendo psicológica ou emocionalmente afetados por seu trabalho. A maioria dessas cartas é dominada por sentimentos de raiva, frustração, ansiedade, culpa e desespero.

### I.2.7.6. Jovens: os mais vulneráveis ao alarmismo<sup>458</sup>

Nem todo mundo está intelectual e psicologicamente equipado para avaliar de forma realista os tipos de histórias que geram ansiedade veiculadas nos noticiários. Crianças que veem um cadáver na TV ou na *Internet*, mostrado como parte de uma notícia no Brasil, Oriente Médio, ou em qualquer outro lugar do mundo, podem não ter a maturidade nem a presença de espírito para ver que a morte está sendo retratada como um conceito abstrato – algo que aconteceu longe de suas casas e/ou não tem absolutamente nada a ver com a qualidade ou segurança de suas vidas naquele momento. Sem o apoio de um adulto significativo para ajudar a criança a compreender as imagens que está vendo, a criança não pode formar uma perspectiva eficaz para interpretar seu significado. Combinado com as milhares de outras cenas perturbadoras que as crianças veem assistindo na TV e vendo na *Internet*, esse fluxo de imagens descontextualizadas penetra no cérebro e no sistema nervoso

<sup>458</sup> Baseado em Shellenberger (2020).

da criança e pode formar a base para uma visão amedrontadora da vida.

Em contato rápido e fácil com cenas e situações chocantes diversas, os jovens de diferentes partes do mundo vivem hoje em constante medo e ansiedade climática, temendo seu futuro em virtude dos apavorantes potenciais riscos associados ao aquecimento global. A “eco-ansiedade” ou “depressão climática” está acontecendo em termos reais entre os jovens, às vezes de maneiras extremas.

Conforme Ojala (2012b), embora muitos jovens demonstrem interesse por problemas globais, são comuns sentimentos de desesperança, impotência, sobrecarga, pessimismo, desamparo, apatia e prostração. Por exemplo, um estudo australiano descobriu que, entre um grupo de 10 a 14 anos, cerca de 27% acreditavam que o mundo pode acabar durante sua vida devido às mudanças climáticas e outras ameaças globais. Além disso, um estudo alemão mostrou que, embora os jovens estejam otimistas sobre seu próprio futuro, dois terços pensam que as mudanças climáticas ameaçam a existência humana. O pessimismo parece ser particularmente forte quando se trata de problemas ambientais, e pesquisas mostram que a educação sobre questões globais às vezes aumenta esses sentimentos negativos.

Analisando cartas de jovens (12 e 18 anos) dos EUA, Zummo, Gargroetzi e Garcia (2020) identificaram a compreensão juvenil de que as mudanças climáticas representam impactos significativos e, conseqüentemente, é algo que a ser temido. Essa percepção de ameaça real também pode gerar desesperança. Em um trecho de uma das cartas, um jovem desabafa: “Em breve o mundo será destruído por conta dos problemas das mudanças climáticas”. Embora não seja surpreendente uma associação entre os impactos sobre os humanos e o medo (e, inferencialmente, a desesperança), ele é potencialmente inibidor de ações futuras. Pesquisas em comunicação tendem a sugerir que o medo não é produtivo para envolver as pessoas em ações em torno das mudanças climáticas.

Segundo Coyle e Susteren (2012), um estudo de 2008 em uma revista médica australiana relatou o caso da primeira “desilusão/alucinação da mudança climática” conhecida: um menino deprimido de 17 anos foi hospitalizado por se recusar a beber água, pois ele estava com medo de que, ao se hidratar, ele estaria causando muito mais mortes na Austrália, assolada pela seca naquele ano. O médico que o tratou também viu outras crianças que sofriam de transtornos de ansiedade relacionados ao clima. Um conjunto de pesquisas que mostra como as

crianças russas e americanas ficaram angustiadas com a ameaça de bombas nucleares durante a era da Guerra Fria ressalta o potencial da mudança climática global para ter o mesmo impacto destrutivo. Atualmente, no contexto da pandemia da COVID-19, existem relatos (PLAUTZ, 2020) de psiquiatras sobre pacientes que confessaram secretamente que tinham o desejo real de que uma “pandemia atacasse para aliviar o estresse no planeta”.

Em julho de 2019, um dos professores de ciências de Lauren Jeffrey (jovem britânica membra do *Extinction Rebellion*) fez um comentário improvisado sobre como as mudanças climáticas podem ser apocalípticas. Jeffrey, que tinha 17 anos, cursava o ensino médio em Milton Keynes, cidade de 230 mil habitantes localizada a 80 km de Londres. A estudante Jeffrey, que havia notado uma ansiedade elevada entre seus colegas após os protestos da *Extinction Rebellion*, relatou:

(...) ouvi pessoas da minha idade dizendo coisas que achei bastante perturbadoras, como ‘É tarde demais para fazer qualquer coisa’, ‘Não há mais futuro’, ‘Estamos basicamente condenados’, ‘Devíamos desistir’”.

(...)

Eu pesquisei sobre isso e passei dois meses me sentindo bastante ansiosa. Eu ouvia os jovens ao meu redor falarem sobre isso e eles estavam convencidos de que o mundo iria acabar e eles iriam morrer. Eu encontrei muitos *blogs* e vídeos falando sobre como estaremos extintos em várias datas (2030, 2035) devido ao colapso social. Foi quando comecei a ficar bastante preocupada. Eu tentei esquecer no começo, mas a preocupação não parava de surgir em minha mente. Uma das minhas amigas estava convencida de que haveria um colapso da sociedade em 2030 e da “extinção humana a curto prazo” em 2050. Ela concluiu que ainda tínhamos dez anos de vida. [SHELLENBERGER, 2020, paginação variável (*e-book*)<sup>459</sup>; tradução nossa].

Os ativistas da *Extinction Rebellion* alimentaram esses temores nos jovens. Eles deram palestras assustadoras e apocalípticas para crianças em idade escolar em toda a Grã-Bretanha. Em uma palestra de agosto, um ativista da *Extinction Rebellion* subiu em cima de uma mesa na frente de uma sala de aula para dar uma palestra aterrorizante para as crianças, algumas das quais parecem não ter mais de dez anos de idade. Alguns jornalistas resistiram ao alarmismo do grupo. O jornalista Andrew Neil (BBC), entrevistou um porta-voz visivelmente desconfortável da *Extinction Rebellion*, Zion Lights, com cerca de 30 anos:

<sup>459</sup> Trechos retirados do “Cap. 6 - Lost Souls” (28º parágrafo), e do “Cap. 7 – *Exaggeration Rebellion!*” (14º parágrafo).

**Neil diz para Lights:** – Um de seus fundadores, Roger Hallam, disse em abril: “Nossos filhos vão morrer nos próximos dez a vinte anos”. Qual é a base científica para essas afirmações?

**Lights responde:** – Essas alegações tem sido contestadas, admito. Existem alguns cientistas que estão concordando e alguns que estão dizendo que eles simplesmente não são verdadeiros. Mas a questão geral é que essas mortes vão acontecer.

**Neil pergunta:** – Mas a maioria dos cientistas não concorda com isso. Eu olhei [os relatórios recentes do IPCC] e não vejo nenhuma referência a bilhões de pessoas morrendo ou crianças morrendo em menos de vinte anos. Como eles morreriam?

**Lights responde:** – A migração em massa ao redor do mundo já está ocorrendo devido à seca prolongada nos países, particularmente no Sul da Ásia. Há incêndios florestais na Indonésia, na floresta amazônica, também na Sibéria, no Ártico. Esses são problemas realmente importantes e podem causar fatalidades. Mas eles não causam bilhões de mortes. Eles não significam que nossos jovens estarão todos mortos em vinte anos. Talvez não daqui a vinte anos.

**Neil comenta:** – Eu vi garotas na televisão, parte de sua demonstração... chorando porque acham que vão morrer em cinco ou seis anos, chorando porque acham que nunca chegarão à idade adulta. E ainda não há base científica para as afirmações que sua organização está fazendo.

**Lights responde:** – Não estou dizendo isso porque estou assustando crianças. Eles estão aprendendo sobre as consequências.

[SHELLENBERGER, 2020, paginação variável (e-book)<sup>460</sup>; tradução nossa].

Felizmente, nem todos os alunos da Grã-Bretanha confiaram na *Extinction Rebellion* para explicar honesta e precisamente as consequências. Lauren Jeffrey reconheceu: “Eu pesquisei e descobri que havia muita desinformação sobre o lado da negação das coisas e também sobre o lado pessimista das coisas”. Em outubro e novembro de 2019, ela postou sete vídeos no *Youtube* e se juntou ao *Twitter* para promovê-los. Em um dos vídeos, Jeffrey declara em uma carta aberta à *Extinction Rebellion*: “Tão importante quanto sua causa é que seu exagero persistente dos fatos tem o potencial de fazer mais mal do que bem para a credibilidade científica de sua causa, bem como para o bem-estar psicológico da minha geração”.

As crianças são particularmente vulneráveis a trauma psicológico de eventos climáticos extremos atuais. Algumas crianças ativistas protestam nas ruas para exigir ações climáticas. Muitos relatam sentimentos estressantes e dominantes de raiva, medo, desespero, impotência, incerteza e abandono. Alguns não veem nenhum propósito na vida, acreditando que o mundo logo estará irreconhecivelmente danificado ou que logo poderão morrer.

Experimentar ou testemunhar eventos com risco de vida pode causar traumas psicológicos profundos e persistentes. Se for grave, isso pode levar ao Transtorno

de Estresse Pós-Traumático (TEPosT). As crianças foram diagnosticadas como tendo TEPosT depois de experimentar eventos climáticos extremos. Os sintomas podem aparecer meses depois, às vezes desencadeados por um novo trauma. O TEPosT também pode ser diagnosticado após exposição indireta ao trauma, por refletir sobre experiências traumáticas que parentes ou amigos sofreram ou mesmo, simplesmente, por ouvir repetidamente detalhes de eventos traumáticos.

O estresse crônico pode afetar permanentemente o desenvolvimento e funcionamento do cérebro. A exposição ao estresse relacionado ao clima durante o desenvolvimento inicial pode ter consequências prejudiciais ao longo da vida (WU; SNELL; SAMJI, 2020), incluindo comportamentos não-adaptativos, problemas de memória, problemas com a atenção, inibição diminuída, dificuldade em regular as emoções, tomada de decisão prejudicada, resolução de problemas prejudicada, problemas comportamentais e preparação para futuro estressante eventos. Assim, problemas psicológicos e comportamentais podem interromper e/ou prejudicar a escolaridade e a vida social. Altos níveis de estresse ao longo do tempo também podem causar danos físicos: danos cardiovasculares, alterações hormonais, infertilidade e função imunológica comprometida (SUSTEREN, 2020).

<sup>460</sup> Trechos retirados do “Cap. 7 – *Exaggeration Rebellion*” (21º parágrafo).



A mudança climática já está prejudicando as crianças, psicologicamente, e esse sofrimento aumenta à medida em que piora a sensação perante à mudança climática, seja por conta da mídia continuar a exacerbar os perigos da mudança climática ou seja pelo fato de políticos e lideranças globais não agirem para interromper a crise climática.

Por que existe um recente engajamento expressivo de jovens na temática climática, que é percebida como abstrata, distante e complexa, sendo que, ao mesmo tempo, tal assunto contribui para aumentar os sentimentos de tristeza, desesperança e ansiedade entre eles? De modo simples, é porque as crianças e jovens são mais vulneráveis ao alarmismo climático. Além de algumas já citadas antes<sup>461</sup>, tentemos especular e acrescentar outras possíveis explicações e fatores pontuais envolvidos na vulnerabilidade juvenil ao alarmismo climático:

- **Acesso frenético à informação:** por conta do maior uso de *smartphones*, cada vez mais crianças e jovens<sup>462</sup> têm hoje acesso muito rápido e fácil à *Internet*, fonte “inesgotável” de todo tipo de informação. Acesso instantâneo e ininterrupto às mídias sociais diversas, associadas às notícias divulgadas pelas mídias convencionais, amplificam a permeabilidade do assunto ambiental e climático no cotidiano geral dos jovens. Nesse quesito, contribui também o hábito cada vez mais comum de se manter sempre conectado: quase que ininterruptamente, jovens ficam dia e noite lendo postagens, notícias, “se atualizando” e interagindo nas redes sociais. Tal tipo de vício é proporcional ao nível da *Síndrome de FOMO* (do inglês *Fear Of Missing Out*<sup>463</sup>, ou “o medo de ficar de fora”, “medo de perder algo”), patologia psicológica que se produz pelo medo sobre ficar fora do mundo social virtual, ou ao medo de não se desenvolver ao mesmo ritmo que a tecnologia, de não ficar sabendo tudo o que está acontecendo no mundo, e não conseguir ler todas as informações de interesse que são incessantemente geradas e divulgadas. Estudos recentes<sup>464</sup> estão concluindo que as redes sociais *online* e *smartphones* são causadores do aumento dos problemas de saúde mental (ansiedade, depressão, estresse, distúrbios do sono, entre outros) nas pessoas mais jovens<sup>465</sup>. De um modo geral, o consumo exagerado de informações na *Internet* tem sido referido como

“sobrecarga de informações”<sup>466</sup> ou “obesidade mental”<sup>467</sup> ou (também conhecida como “infobesidade”, “infoxicação” e “ansiedade pela informação”), que consiste na dificuldade em compreender um problema e tomar decisões de forma eficaz quando se tem muitas informações sobre esse assunto. Esse vício nas mídias<sup>468</sup> geralmente está associado à quantidade excessiva de informações diárias produzidas e recebidas. No final das contas, o excesso informação, invés de esclarecer, pode representar uma luz atordoante e opilante da visão, ofuscando a compreensão, o discernimento e eclipsando a percepção verdadeira dos fatos.

- **“Adulterização” e profissionalização precoce:** aumento da cobrança, pressão e sutis assédios, por toda parte (família, amigos, propagandas, sociedade em geral) que compelem à aceleração do processo de desenvolvimento humano, com vistas a proporcionar melhores condições profissionais no futuro. Processo associado à uma preparação antecipada (“o quanto antes, melhor”) da profissionalização, já exercendo, na juventude, parte da pressão a ser enfrentada no mercado de trabalho, desafio típico da fase adulta. Também associado à tendência de maiores (“quanto mais, melhor”) níveis de capacitação e competências, como por exemplo, cobrar que uma criança aprenda não somente a língua nativa e o Inglês, mas também uma terceira ou quarta língua (espanhol, italiano, alemão, japonês, chinês etc.). Os adultos, hoje hipercoçados no trabalho, possuem uma falsa ideia – moldada pelo mercado supercompetitivo – de que toda criança precisa se destacar e ser “grande” (bem sucedida profissionalmente): participar de concursos competitivos, dançar, cantar músicas de adultos, aprender a ler, enfim, acelerar o desenvolvimento infantil para que se tornem adultas logo, e bem preparadas para a vida (profissional).
- **“Megalomania ecoempática”:** pressionados por uma questão financeira/profissional, os jovens são incentivados a “pensar e sonhar grande”, a desenvolver todo o seu potencial, a cultivar e buscar realizar grandes objetivos e ambições na vida, a se tornarem grandes empreendedores, executivos e líderes mundiais. Como consequência, os jovens podem eventualmente desenvolver um nível megalomaniaco de desejos e desafios. Assim, a megalomania, associada a boas grandes intenções (como empatia social e proteção ecológica), resulta em anseios por “salvar o mundo”, “salvar a humanidade”, “impedir que a crise climática se tome um colapso ecológico e social”. De fato, tais causas são legítimas e puramente nobres, todavia, para uma criança ou adolescente, ainda “inocente” e ainda não ciente da intrínseca e intrincada complexidade dos interesses que movem o

<sup>461</sup> Na parte final do parágrafo antecedente à Figura 232, p. 61.

<sup>462</sup> Em 2015, pelo menos 92% dos adolescentes estavam de alguma forma ativos nas redes sociais. Na faixa etária de 13 a 17 anos, constatou-se usuários particularmente intensos de mídia social: 87% tendo acesso a um computador, 68% usando um *smartphone* e 58% usando um *tablet*. Para adolescentes de 15 a 17 anos, quase 75% usavam *smartphone* (KELES; MCCRAE; GREALISH, 2020).

<sup>463</sup> [https://en.wikipedia/wiki/Fear\\_of\\_missing\\_out](https://en.wikipedia/wiki/Fear_of_missing_out)

<sup>464</sup> Demirci, Akgönül e Akpınar (2015); Younes et al. (2016); Scott e Woods (2019); Jain et al. (2020); Keles, McCrae e Grealish (2020); e Tokiya et al. (2020).

<sup>465</sup> Conforme relatado em Keles, McCrae e Grealish (2020), cerca de 10 a 20% das crianças e adolescentes em todo o mundo têm problemas de distúrbios no sono e na saúde mental. Estima-se que 50% de todos os transtornos mentais são estabelecidos aos 14 anos e 75% aos 18 anos. Os transtornos mais comuns em crianças e adolescentes são transtorno de ansiedade generalizada e depressão; a prevalência de

ansiedade e depressão aumentou 70% nos últimos 25 anos em jovens. A depressão e a ansiedade têm consequências adversas no desenvolvimento do adolescente, incluindo baixo nível de escolaridade, abandono escolar, relações sociais prejudicadas e aumento do risco de abuso de substâncias, problemas de saúde mental e suicídio.

<sup>466</sup> [https://en.wikipedia/wiki/Information\\_overload](https://en.wikipedia/wiki/Information_overload)

<sup>467</sup> Pierri (2021).

<sup>468</sup> Estudos de ondas cerebrais indicam experiências viciantes como passar muitas horas na TV, no computador ou no celular pode induzir um estado cerebral que é virtualmente indistinguível da hipnose: imperam atividades de ondas cerebrais “alfa”, de semientorpecimento, implicando capacidade diminuída de processamento de informações, capacidade reduzida de abstração ou pensamento crítico, e um alto nível de sugestibilidade (ALBRECHT, 2006).

mundo, tal “megalomania do bem” pode se tornar um fardo cruel e difícil de carregar. Altas expectativas, caso não satisfeitas, podem também se tornar grandes decepções. Salvar o mundo e a humanidade não é tarefa simples, muito menos algo que seja capaz de ser realizado por uma única pessoa. Muitas vezes, ao perceber a inviabilidade de tal hercúleo desafio, o jovem pode ser acometido por desilusão: a esperança inicial oriunda da pura ingenuidade juvenil é dessensibilizada e gradualmente calejada com a dura realidade. Carente de capacidade intelectual/emocional, o jovem pode ser equivocadamente induzido a querer conquistar coisas impossíveis. Na tentativa de voar sem limites, o jovem pode sofrer um desapontamento análogo ao trágico mito de Ícaro<sup>469</sup>.

- **Globalização das preocupações:** a associação da megalomania de “pensar e sonhar grande” com o acesso instantâneo de informações, promove um direcionamento das preocupações locais (menores) para as preocupações globais (maiores). Antigamente, antes mesmo da era da TV, somente rádio e jornais traziam as notícias para população em geral. Naturalmente, a velocidade dessas informações era relativamente limitada e muito voltada para o público adulto. Fatos ocorridos do outro lado do mundo, muitas vezes não chegavam em diversas regiões; ou, se chegavam, não havia tanto interesse sua divulgação; ou, ainda, era dada pouca visibilidade, visto que o espaço nos jornais e o tempo nas rádios eram limitados. A TV expandiu o acesso às informações, ampliando o acesso e apresentando conteúdos ao públicos infanto-juvenil. Mas, com o advento da *Internet*, e o seu acesso “na palma da mão” por meio dos *smartphones*, proporcionou um irrestrito e rápido acesso a todos os tipos de conteúdo presentes na rede mundial. E detalhe importante: a *Internet* aparenta não ter limites! Nela cabe tudo o que se possa imaginar: de textos variados, áudios, a conteúdos visuais (fotos e vídeos) ricamente agradáveis aos olhares dos espectadores. Como um repositório “infinito”, a *Internet* permitiu quebrar a limitação de espaço das mídias anteriores. Consequentemente, com tanta informação disponível, o público mudou o seu comportamento de passivo (de receber as informações que são escolhidas e transmitidas pelos meios de comunicação convencionais – rádio, TV, impressos como jornais e revistas) para uma postura intensamente ativa (de procurar e encontrar inúmeras fontes e tipos de informações), liberdade nunca antes possível nessa escala e velocidade. Nesse contexto, permitiu-se às pessoas buscar pelas por informações que as interessam, não se restringindo somente àquelas informações previamente escolhidas pela mídias convencionais e pelo *mainstream* (correntes dominantes). Com a globalização e a massificação do acesso à *Internet*, o processo de integração cultural e informacional atingiu níveis sem precedentes.

Na ânsia de se informar sobre os fatos marcantes da vida, as pessoas passaram a se preocupar mais com problemas do “outro lado do mundo”, e menos com os problemas locais, mais próximos ao cotidiano da vida. Assim, “pensar globalmente e agir localmente” é o mantra que resume a essência da globalização das preocupações. Quanto aos jovens, cada vez mais pressionados por capacitar-se visando um bom futuro profissional, conseguiram, por meio da *Internet*, acessar conteúdos antes que eram voltados somente ao público adulto. Com isso, problemas diversos, incluindo o aquecimento global, passaram a fazer parte do imaginário e do rol de preocupações de crianças e jovens.

- **Desinformação ambiental e climática:** a ansiedade relacionada a um ambiente em mudança e incerto agora está sendo amplamente discutida. A quantidade de informação (e desinformação) disponível sobre mudanças climáticas perigosas e ecossistemas em dificuldades aumentou exponencialmente nas últimas décadas. A *Internet*, em particular, testemunha uma explosão de informações ecológicas disponíveis para bilhões em todo o mundo. Logo, as más notícias frequentemente associadas à ecoinformação são, em si mesmas, uma fonte de ansiedade.
- **Desenvolvimento mental (emocional e intelectual) incompleto:** por ainda não terem se desenvolvido física e mentalmente de forma completa, as crianças e adolescentes não possuem uma capacidade de discernimento plenamente formada<sup>470</sup>. Ou seja, o medo gerado pelas mudanças climáticas nos jovens pode estar associado a uma distorção da percepção do risco, decorrente de uma limitação fisiológica inerente à idade infantil/juvenil. Se uma mídia dispara um alarme altíssimo sobre o colapso climático, os jovens não possuem mecanismos mentais e psicológicos para racionalmente filtrar todo o barulho alarmista. Atorroados, os jovens são, na verdade, vítimas do desenvolvimento incompleto de seus cérebros, ainda em processo de natural formação e consolidação. A natural e ainda baixa capacidade mental dos jovens, quando associada ao gigantesco volume de informações, pode provocar sintomas de “obesidade mental” precoce e disfuncional. Logo, quando um jovem recebe inúmeros conjuntos de informações, com elevada complexidade, quantidade e contradição, a qualidade na formação de opinião e decisão diminui devido à limitação inerente do indivíduo juvenil, que possui recursos emocionais e intelectuais escassos para processar todas as informações e agir de forma otimizada e equilibrada.
- **Vivência limitada e pouca experimentação dos problemas da vida** – Jovens, no geral, costumam ter menos problemas do que os adultos. Na verdade, os típicos problemas juvenis são proporcionalmente

<sup>469</sup> Na mitologia grega, Ícaro construiu asas com penas e cera para, junto com seu pai Dédalo, fugir de um labirinto. Dédalo avisa Ícaro primeiro sobre a complacência e depois sobre a arrogância, instruindo-o a voar nem muito baixo nem muito alto, para que a umidade do mar não obstruísse suas asas ou o calor do Sol as derretesse. Ao sentir-se tão livre como um pássaro e voando pelos céus, Ícaro pensou que era tão poderoso quanto um deus e voou cada vez mais alto. Assim, ignorou as instruções de seu pai e, ousadamente, voou perto demais do Sol. Gradualmente, o calor do Sol derreteu a cera e descolou as penas, desfazendo as asas. Sem asas, Ícaro despençou do céu, caiu no mar e se afogou. Diante desse mito que originou-se a expressão “não voe muito perto do Sol”.

<sup>470</sup> As crianças não são simplesmente “pequenos adultos” e, como seus corpos e cérebros ainda estão crescendo e se desenvolvendo, são particularmente vulneráveis aos estressores ambientais. A primeira infância é crítica para o desenvolvimento do cérebro e o estresse. Mesmo pequenos distúrbios durante a infância podem impactar

o desenvolvimento do cérebro de forma crítica. O consenso dos neurocientistas é que o desenvolvimento do cérebro persiste em humanos até meados dos anos 20, especialmente no córtex pré-frontal. O córtex pré-frontal é a parte do cérebro que “decide” como agir após receber informações de outras partes do cérebro. Ele comanda o funcionamento “executivo” do cérebro: governa como nos expressamos, consideramos os valores e questões morais, como nos regulamos emocionalmente. O córtex pré-frontal é onde tomamos decisões e julgamentos complexos, onde criamos estratégias e resolvemos problemas usando nossa razão e levando em consideração os dados que chegam de outras partes do cérebro. Condições adversas de estressores externos – sensoriais, emocionais, sociais – podem afetar permanentemente o desenvolvimento do córtex pré-frontal, afetando adversamente a maneira como nos apresentamos ao mundo exterior e, por sua vez, como o mundo responde a nós. A exposição a traumas climáticos durante este período de desenvolvimento tem o potencial de criar consequências prejudiciais ao longo da vida (SUSTEREN, 2018).

menos complexos e menos “sérios” justamente porque o jovem ainda não atingiu o pleno desenvolvimento físico e mental. Os jovens não costumam ter preocupações de adulto como “Procure um emprego, trabalhe! Ganhe seu dinheiro, garanta seu sustento para suprir suas necessidades básicas (comida, moradia, segurança) e, se possível, também prover uma vida confortável e agradável com acesso aos prazeres da cultura, lazer e viagens”. São seus pais que estão tendo essas preocupações, para justamente garantir tempo para os jovens brincar (lazer) e estudar (compromisso) – atividades resumem bem o que as crianças essencialmente fazem. Portanto, aos jovens falta vivência e experimentação de problemas típicos da fase adulta para poder ter critérios comparativos mais amplos. Sem sentir outros tipos de problemas, os jovens podem atribuir um valor maior a determinados problemas, como as mudanças climáticas. Sem noção da vida adulta e sem outras grandes responsabilidades, problemas menores adquirem, na concepção dos jovens, graus de importância muito maiores do que a realidade.

Em última análise, o acesso e o estresse da mídia social, combinados com um cérebro subdesenvolvido, deixam as crianças hoje em dia extremamente vulneráveis a problemas de saúde mental quando pressionadas por um problema como a mudança climática. Pessoas mais velhas como nossos pais tiveram décadas para desenvolver a capacidade mental de lidar com tópicos de mortalidade e desastres, mas os mais jovens ainda não estão preparados para lidar com a pregada desastrosa crise ambiental e climática.

Geralmente, crianças encontram maior dificuldade do que os adultos em lidar com as emoções negativas. No tocante à mudanças climáticas, ameaça que desperta uma enorme ansiedade, as crianças têm ainda menos controle do que os adultos sobre seu próprio comportamento. As crianças que experimentam um alto grau de afeto negativo em geral também experimentam sentimentos mais negativos quando se trata de mudanças climáticas, e essa preocupação as motiva a buscar informações sobre o que podem fazer a

respeito do problema; isto é, usar um enfrentamento mais focado no problema. A preocupação geralmente concentra a atenção das pessoas no fator estressor, seguida por uma busca intensa por soluções possíveis (CLAYTON, 2020). Então um primeiro contato com o problema climático possui o potencial de dar início a um *feedback* em que, a maior procura por soluções, também implica maior contato com os impactos e imagens negativas do aquecimento global. Esse *feedback* pode se tornar um vicioso e extremamente pernicioso aos jovens.

Embora todos os jovens sejam especialmente vulneráveis aos efeitos emocionais da mudança climática, um fardo particular é suportado pelos jovens ativistas. Os jovens ativistas do clima seriam, segundo Susteren (2018), modernas “Cassandras do Clima”<sup>471</sup>: eles estão visualizando um futuro fatídico, alertando os governos e políticos sobre os perigos, mas vendo esses avisos desconsiderados, ignorados. Muitas dessas “Cassandras do Clima” vivem diariamente com imagens de desastres climáticos que não conseguem tirar da cabeça. Eles lutam contra o “*Transtorno de Estresse Pré-Traumático (TEPreT)*”<sup>472</sup>, que impede sua capacidade de sentir alegria, de pensar em qualquer coisa, exceto no imaginado destino trágico e inevitável que está por vir.

Para encerrar este tópico, vamos fazer uma analogia bem simples que consegue ilustrar o porquê de crianças e jovens adolescentes apresentam maiores níveis de ansiedades ecológica e climática. Conforme já relatado em Oliveira, Carneiro e Vecchia (2017), todas as pessoas possuem uma “reserva de preocupações”, ou seja, uma capacidade psicológica que limita o quanto nos preocupamos com cada um dos diversos problemas na vida. Assim, somos capazes de lidar com um número limitado de situações preocupantes dentro de uma dinâmica de “concorrência dos problemas”, isto é, ao analisarmos cada agente estressor, priorizamos aqueles que são os

<sup>471</sup> Na mitologia romana, Cassandra recebeu o poder da profecia de prever os danos futuros. No entanto, essa habilidade foi acompanhada por uma maldição: ninguém acreditava nela e, assim, ela sofria vendo as consequências quando uma ação protetora não era tomada. Depois das histórias relacionadas ao mito de Cassandra, foi cunhado o termo *complexo de Cassandra*, que é aplicado às pessoas que costumam fazer previsões, geralmente catastróficas, sem que os outros acreditem nelas. Atormentando quem sofre dele, o *complexo de Cassandra* desenha a caricatura de alguém que acha que pode prever o futuro, mas se sente incapaz de mudá-lo.

<sup>472</sup> O *Transtorno de Estresse Pré-Traumático (TEPreT)* é uma nova versão do clássico *Transtorno de Estresse Pós-Traumático (TEPosT)*, este associado a eventos climáticos e meteorológicos extremos reais, que de fato ocorreram. Desastres relacionados ao clima (como inundações, furacões e incêndios florestais) costumam estar associados a transtornos psiquiátricos relacionados ao estresse. Indivíduos que foram expostos a situações de risco de vida correm um risco considerável de desenvolver TEPosT. Os sintomas de TEPosT incluem *flashbacks* do evento, distúrbios de atenção, e evitar

situações/lugares que remetem a memórias sobre o evento traumatizante (PADHY et al., 2015). O TEPreT é diferente da maioria dos outros conceitos climáticos de saúde mental. Ele se vincula, mas é diferente do conhecido TEPosT; também difere de outras doenças climáticas por estar focada no futuro, e não no passado ou presente. Ou seja, existe uma conexão entre ansiedades antecipatórias para o futuro (“trauma sobre o futuro”) e o conhecido fenômeno relacionado ao TEPreT. Na síndrome pré-traumática, sintomas semelhantes aos do TEPosT podem surgir em virtude de extrema ansiedade sobre um futuro em que o ambiente natural e os sistemas humanos relacionados teriam falhado, colapsado. Tais sintomas podem incluir *flash-forward* (também conhecido como *antecipação* e, mais formalmente, como *prolepsis*. é uma cena que temporariamente leva a narrativa adiante no tempo a partir do ponto atual da história na literatura, no cinema, na televisão e em outras mídias), pesadelos e dissociação induzida pelo medo, agora causada por referência a um futuro em vez de um evento passado (KAPLAN, 2020).

mais importantes e urgentes. O grau de importância dado aos problemas define possíveis estratégias para seu enfrentamento e possível solução almejada.

Dito isso, vamos à seguinte analogia simples e imaginária: cada pessoa possui e carrega um balde (ele representa a capacidade da reserva de preocupação), cujo tamanho varia de acordo com a idade. Crianças possuem baldes pequenos, que vão gradualmente “crescendo” até atingir a maturidade. Logo, adultos, possuem e carregam baldes maiores. Ao longo da vida, o balde sempre vai sendo enchido com água (preocupações) por diferentes fontes, conforme cada contexto etário. Normalmente, a quantidade de água que entra no balde é proporcional ao tamanho do balde: uma criança, com um balde pequeno, costuma receber pequenas quantidades de água. Já o adulto, que tem um balde maior, recebe maiores quantidades de água. Só que, para equilibrar e não deixar encher indefinitivamente, o balde possui uma torneira (também proporcional ao tamanho do balde). Essa torneira permite escoar e manter o nível de água dentro da capacidade do balde, sem deixar transbordar a água. Vamos a alguns exemplos: a criança precisa fazer suas tarefas de escola, preocupando-se com as respectivas provas, por exemplo. Com isso, seu baldinho vai enchendo, processo que é perfeitamente normal. Para extravasar o acúmulo de água, a criança tem atividades (como brincar, assistir desenhos etc.) que “abrem a torneira” e deixam a água vaziar, não acumular. Esse mesmo tipo de situação (prova), já não enche mais o balde de um adulto, mas ele tem outros tipos e fontes de água (problemas) enchendo o balde, com vazões muito maiores: conquistar e manter uma renda (emprego), sustentar e cuidar da casa, auxiliar o desenvolvimento dos filhos etc. Os adultos também possuem uma diversidade grande de formas de escoar o balde para manter o nível de sua água dentro dos limites do balde (viajar, namorar, beber, andar de moto etc.). Agora, voltando para criança: quando ela se depara com algum tipo de fonte de água muito grande, o seu baldinho não tem capacidade total nem uma torneirinha suficiente para aguentar o volume de água extraordinário. Assim, o seu baldinho, de tamanho e vazão de drenagem insuficientes, acaba transbordando a água excedente. Essa fonte, que extravasa o baldinho da criança, não causa o mesmo efeito no balde do adulto, que é consideravelmente maior. Esse simplório e apatetado “conto dos baldes” ilustra bem como o problema das mudanças

climáticas é enfrentado por crianças e jovens adolescentes: eles possuem baldes relativamente pequenos para suportar um volume alto de água (preocupação). Quando o nível de água extrapola o tamanho do balde (quando a preocupação com a crise climática ultrapassa suas capacidades emocionais), ocorre o extravasamento (eco-ansiedade e/ou ansiedade climática). Essa água que derrama pode trazer outros prejuízos (distúrbios do sono, insônia, pesadelos, desânimo, dificuldades na aprendizagem, entre outros).

A partir do hipotético exemplo ilustrativo, conclui-se que as crianças e jovens possuem uma capacidade limitada de lidar com grandes problemas, como é o caso das mudanças climáticas. Consequentemente, com suas restritas capacidades mentais de análise, tal problema adquire uma proporção superdimensionada, e as soluções nem sempre são bem elaboradas e executadas. Como forte frustração, o efeito colateral indesejável dessa dissociação é expresso por sintomas emocionais e prejudiciais à saúde mental/psicológica relacionados com as *doenças ambientais*, sendo a eco-ansiedade e/ou a ansiedade climática as tipologias mais comuns percebidas na atualidade.

## I.2.8. DOENÇAS AMBIENTAIS

### I.2.8.1. Tipos de doenças ambientais

Um relatório (CLAYTON et al., 2017), patrocinado pela Associação Americana de Psicologia, relatou que a mudança climática produz impactos agudos na saúde mental, como “aumento no trauma e no choque, Transtorno de Estresse Pós-Traumático (TEPosT), estresse agravado, ansiedade, abuso de substâncias e depressão”, e impactos crônicos, incluindo “maiores taxas de agressão e violência, mais emergências de saúde mental, um aumento da sensação de desamparo, desesperança ou fatalismo e intensos sentimentos de perda”.

Uma grande quantidade de novas terminologias foi inventada recentemente para nomear e comunicar o sofrimento induzido emocionalmente pelo impacto das mudanças ambientais e climáticas<sup>473</sup>. No caso de doenças ambientais, assistimos, nos últimos anos, ao surgimento de um repertório culturalmente

<sup>473</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Psychological\\_impact\\_of\\_climate\\_change](https://en.wikipedia.org/wiki/Psychological_impact_of_climate_change)

ressonante de novos termos, como: a *eco-ansiedade*<sup>474</sup>, *ansiedade climática*<sup>475</sup>, *solastalgia*<sup>476</sup>, *luto ecológico*<sup>477</sup>, *eco-doença*<sup>478</sup>, *eco-fobia*<sup>479</sup>, *eco-trauma*<sup>480</sup>, *culpa verde*<sup>481</sup>, *sobrecarga ecológica*, *depressão verde*, *depressão climática*, *transtorno do Antropoceno*<sup>482</sup>, *transtorno de estresse pré-traumático (TEPrT)*<sup>483</sup>, entre outros.

Para estimar a popularidade de cada tipo de doença ambiental, foi realizado um levantamento sobre o

número de resultados retornados após pesquisas na *Internet*, tanto no *Google* bem como nos *sites*<sup>484</sup> de algumas das grandes bases de dados científicas (*Scopus*, *Web of Science*, *Pubmed*, *JSTOR* e *ScienceDirect*). O resultado dessa análise está apresentado em detalhes na **Tabela 14**, cuja síntese é graficamente exibida na **Figura 240**.

<sup>474</sup> Várias definições de eco-ansiedade foram analisadas por Pihkala (2020a, 2020b), entre elas destaca-se: *eco-ansiedade* é “um medo crônico da destruição ambiental”; “a sensação generalizada de que os fundamentos ecológicos da existência estão em processo de colapso”; e “uma preocupação não específica sobre a nossa relação com o meio ambiente que nos sustenta”.

<sup>475</sup> Em 2007, o termo *ansiedade climática* foi publicado com a definição: “ansiedade por uma deterioração climática ameaçadora” (IDELAND, 2019). Alguns estudiosos preferem usar o termo “estresse climático” (PIHKALA, 2020b). Para Pihkala (2019), a *ansiedade climática* é um aspecto do fenômeno mais amplo da eco-ansiedade: ela abrange emoções desafiadoras, vivenciadas em um grau significativo, devido às questões ambientais e às ameaças que representam. Em uma escala mais ampla, tanto a eco-ansiedade quanto a ansiedade climática são componentes de um fenômeno, no qual o estado do mundo (ou seja, os chamados fatores macrosociais) impacta a saúde mental das pessoas. A ansiedade climática pode ser um problema se for tão intensa que a pessoa pode ficar paralisada, mas ela não é basicamente uma doença. Em vez disso, é uma reação compreensível à magnitude dos problemas ambientais que nos cercam. Muitas vezes, a ansiedade climática também pode ser um recurso importante, mas isso significa que a pessoa encontra, junto com outras pessoas: tempo e espaço suficientes para lidar com suas emoções; e atividades construtivas suficientes para ajudar a mitigar as mudanças climáticas. Para Stewart (2021), a *ansiedade pelas mudanças climáticas* pode ser definida como “ansiedade que está significativamente relacionada à mudança climática antropogênica”, ou “ansiedade associada às percepções sobre as mudanças climáticas, mesmo entre pessoas que não experimentaram pessoalmente nenhum impacto direto”.

<sup>476</sup> *Solastalgia*, o mais antigo e mais influente dos conceitos de doença ambiental, foi cunhada pelo filósofo australiano Glenn Albrecht para descrever um tipo específico de “saúde de casa sentida em casa”. Albrecht desenvolveu o conceito – uma mala de viagem de “consolação” e “nostalgia” (do inglês *solace* + *nostalgia*) – por volta da virada do milênio para se referir aos efeitos psicológicos da extensa mineração de carvão a céu aberto sobre os residentes da região de Upper Hunter em New South Wales, Austrália. Ao contrário da nostalgia – a saudade vivida pelas pessoas quando separadas de um lar amado – a solastalgia é a angústia produzida por mudanças ambientais negativas que afetam os indivíduos enquanto eles estão diretamente conectados ao ambiente doméstico. É a perda de conforto, ou “consolo”, quando a casa de alguém é transformada por forças externas (tanto eventos e processos naturais quanto induzidos pelo homem), principalmente ou completamente fora do controle de alguém em algo que é pouco reconhecível por seus habitantes (CRAPS, 2020).

<sup>477</sup> *Luto ecológico* denota “o luto sentido em relação às perdas ecológicas experimentadas ou previstas, incluindo a perda de espécies, ecossistemas e paisagens significativas devido a mudanças ambientais agudas ou crônicas” É “uma resposta natural às perdas ecológicas [...] e que tem o potencial de ser sentida com mais força e por um número crescente de pessoas à medida que avançamos no Antropoceno [a nova época geológica definida pelo impacto humano]” (CRAPS, 2020).

<sup>478</sup> O conceito relacionado à *eco-doença*, criado por Heather Houser, refere-se à interdependência entre mudança ambiental e doença humana. A autora traça tal conceito em uma série de romances e memórias americanas contemporâneas – constituindo o emergente modo literário de “ficção da eco-doença” – que “une experiências de danos ecológicos e somáticos através do afeto narrativo”, a fim de levar os leitores à consciência ambiental (CRAPS, 2020).

<sup>479</sup> *Ecofobia* é a sensação de impotência para evitar mudanças ambientais cataclísmicas. Possui significado semelhante à eco-ansiedade e à ansiedade climática. O termo foi cunhado pelo educador ambiental David Sobel em 1996, que

descreveu como “em vez de desenvolver um senso de agir... [alguns sentem] um sentimento impotente de pavor sobre o futuro”. Estudo com crianças de 10 a 12 anos descobriu que 82% das crianças expressaram medo, tristeza e raiva sobre os problemas ambientais (ECOPHOBIA, 2021).

<sup>480</sup> *Eco-trauma* é conceituado como o dano que nós, como humanos, infligimos em nosso ambiente natural, ou os danos que sofreremos da natureza em suas iterações implacáveis. O termo abrange ambas as circunstâncias, porque tais instâncias aparentemente distintas de dano ecológico são frequentemente relacionadas e até simbióticas: os traumas que perpetuamos em um ecossistema por meio da poluição e do manejo insustentável de recursos inevitavelmente voltam para nos prejudicar (CRAPS, 2020).

<sup>481</sup> Conforme apontado por Roszak (1992), já tratado no item “1.2.4.4 – O início do alarmismo climático”, p. 31, ambientalistas foram acusados de promover sentimentos de impotência e futilidade por meio de “culpa verde e sobrecarga ecológica”.

<sup>482</sup> Proposto por Timothy Clark, o termo *transtorno do Antropoceno* descreve uma aflição psicológica que emerge da percepção de uma incongruência destrutiva entre a escala humana da vida diária e as vastas escalas espaço-temporais do Antropoceno. Um “estado de espírito que provavelmente se tornará mais disseminado conforme a biosfera continua a se degradar”, o *transtorno do Antropoceno*, que “parece sempre pronto para estourar”, nomeia um novo tipo de transtorno psíquico, inerente à incompatibilidade entre a percepção familiar do dia-a-dia e a voz sarcástica até mesmo de uma compreensão ou consciência ecológica mínima dos efeitos de escala. Fundamenta-se na lacuna entre o sentido humano do tempo e a catástrofe em câmera lenta e, finalmente, em um sentido de disjunção entre os processos destrutivos em questão e a adequação dos argumentos e medidas sendo instados para enfrentá-los. Essa perda desorientadora do senso de proporção leva a sentimentos de “raiva e até desespero”, bem como à consciência de que tais reações são consideradas “desproporcionais e desequilibradas” pela visão dominante na sociedade (CRAPS, 2020).

<sup>483</sup> Além do já tratado na nota de rodapé nº 472, o *Transtorno de Estresse Pré-Traumático (TEPrT)* é um termo que se destaca por estar atraindo a atenção de estudiosos proeminentes no campo da pesquisa do trauma cultural. O termo foi supostamente cunhado por Lise Van Susteren, uma psiquiatra que se especializou nos efeitos psicológicos das mudanças climáticas. Em uma entrevista, ela descreve a condição da seguinte maneira: “muito do TEPrT é como imaginamos que as coisas serão [...]; temos em nossas mentes imagens do futuro que refletem o que os cientistas estão nos dizendo; imagens de pessoas e animais sofrendo por causa das escolhas incautas que fazemos hoje. Eu diria que é uma condição totalmente legítima – acompanhada por uma sensação contínua e corrosiva de que mais precisa ser feito”. Pessoas com TEPrT inconscientemente sofrem de uma ansiedade antecipatória imobilizadora sobre o futuro. Podemos agora estar entrando em uma nova era caracterizada por um pré-trauma generalizado, em que as pessoas vivem com medo de um futuro catastrófico marcado por crises ambientais e/ou climáticas (CRAPS, 2020).

<sup>484</sup> *Scopus*: <http://scopus.com/>

*Web of Science*: <https://www.webofknowledge.com>

*Pubmed*: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/>

*JSTOR*: <https://www.jstor.org/>

*ScienceDirect*: <https://www.sciencedirect.com/>

**Tabela 14** – Levantamento na *Internet* sobre doenças ambientais, com resultados retornados após pesquisas em diferentes locais/bases de dados

PALAVRA/TERMO		QUANTIDADE DE RESULTADOS RETORNADOS						
Texto da pesquisa (em Inglês)	Tradução (Português)	GOOGLE	BASES CIENTÍFICAS					TOTAL <sup>6)</sup>
			Scopus <sup>3)</sup>	Web of Science <sup>4)</sup>	Pubmed <sup>5)</sup>	JSTOR <sup>6)</sup>	Science Direct <sup>6)</sup>	
" <i>eco-anxiety</i> " + " <i>ecoanxiety</i> " <sup>(1)</sup>	eco-ansiedade	188.700	37	32	11	10	58	148
" <i>climate anxiety</i> "	ansiedade climática	102.000	24	14	5	45	33	121
" <i>solastalgia</i> "	solastalgia	101.000	59	63	21	54	90	287
" <i>ecophobia</i> "	ecofobia	72.300	43	46	0	76	11	176
" <i>green depression</i> " - <i>glass</i> - <i>glasses</i> <sup>(2)</sup>	depressão verde	67.000	0	1	0	44	10	55
" <i>ecological anxiety</i> "	ansiedade ecológica	30.100	9	3	0	58	23	93
" <i>ecological grief</i> "	luto ecológico	21.100	23	25	6	9	19	82
" <i>pre-traumatic stress disorder</i> " + " <i>pretraumatic stress disorder</i> " <sup>(1)</sup>	transtorno de estresse pré-traumático	15.660	7	4	0	8	5	24
" <i>ecosickness</i> " + " <i>eco-sickness</i> " <sup>(1)</sup>	ecodoença	10.700	4	8	0	13	0	25
" <i>climate depression</i> "	depressão climática	5.720	6	6	1	49	14	76
" <i>Anthropocene disorder</i> "	transtorno do Antropoceno	624	1	1	0	1	0	3

<sup>(1)</sup> Considerando que havia resultados significativos para dois termos possíveis, como o resultado apresentado na tabela, considerou-se a soma dos resultados individuais correspondentes a cada termo.

<sup>(2)</sup> Utilizou-se as expressões "*-glass*" e "*-glasses*" para remover resultados indesejáveis relativos a "vidrarias verdes" (a exemplo do que trata o artigo: [https://en.wikipedia.org/wiki/Depression\\_glass](https://en.wikipedia.org/wiki/Depression_glass)).

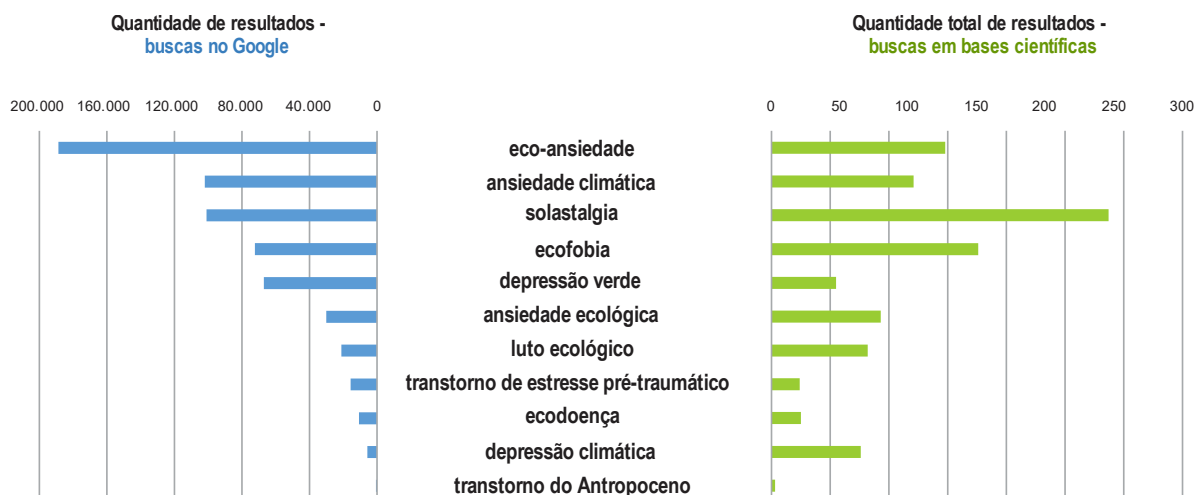
<sup>(3)</sup> Parâmetro(s) da pesquisa: consulta padrão/simples (Título, Abstract, Palavras-chave).

<sup>(4)</sup> Parâmetro(s) da pesquisa: Todas bases de dados; consulta padrão/simples (por tópico).

<sup>(5)</sup> Parâmetro(s) da pesquisa: Consulta padrão/simples.

<sup>(6)</sup> Ressalta-se que os valores totais não indicam artigos únicos, visto que muitos artigos devem estar repetidos nas diferentes bases de dados.

Fonte: elaboração própria, com base em consultas realizadas no Google.



**Figura 240** – Quantidade de resultados retornados sobre diferentes termos relacionados às doenças ambientais, após pesquisas na *Internet* (no *Google*, à esquerda; e bases científicas, à direita). Fonte: elaboração própria, com base em consultas realizadas no *Google*, cujos dados estão apresetados contidos na Tabela 14.

Por meio das informações apresentadas na **Tabela 14** e na **Figura 240**, nota-se que, em termos populares (com base nas consultas realizadas no *Google*), a "*eco-ansiedade*"

(e sua variante "*ecoansiedade*") é, de longe, o termo com mais resultados na *Internet*, tendo o dobro de resultados em relação ao segundo termo nessa classificação. Isso

demonstra o elevado número de publicações listadas na base do *Google*. Em seguida, os termos mais populares do *Google* são “ansiedade climática”, “solastalgia”, “ecofobia” e “depressão verde”. Já em termos de popularidade nas bases científicas, os termos com mais resultados são: “solastalgia”, “ecofobia”, “eco-ansiedade/ecoansiedade”, “ansiedade climática” e “ansiedade climática”.

Albrecht (2011) propõe uma classificação das *doenças ambientais*: doenças *psicoterráticas* e *somaterráticas*. Ambas fazem a conexão entre o estado da Terra e a saúde mental (psique) e corporal (somática) humana. As *doenças psicoterráticas* surgem de uma relação negativa com nosso ambiente doméstico, seja em escala local, regional ou global. O relacionamento negativo envolve uma perda de identidade, perda de um senso de lugar endêmico e um declínio no bem-estar. Por outro lado, um relacionamento duradouro e positivo com um ambiente familiar amado oferece os benefícios de um forte senso endêmico de lugar e bem-estar. Assim, as doenças psicoterráticas têm origem “existencial e não biomédica”, refletindo a ideia de que as percepções de mudança, em vez da experiência sensorial direta, são a causa da resposta emocional. Já as *doenças somaterráticas* surgem em virtude do contato com condições químicas e/ou físicas prejudiciais à saúde, como a poluição tóxica direta do meio ambiente [arsênio na água, ou monóxido de carbono (CO) no ar] ou de mudanças negativas nas condições biofísicas de vida, como estresse térmico de ondas de calor. A seguir, apresenta-se a visão geral do supracitado autor sobre as condições estabelecidas e

emergentes que são respostas físicas e psicológicas a mudanças negativas no estado da Terra:

- **Síndromes somaterráticas:** estresse por calor; cânceres causados por fatores ambientais; disruptores endócrinos (feminização); e *transtorno afetivo sazonal (SAD)*<sup>485</sup>; e
- **Síndromes psicoterráticas:** eco-ansiedade; *eco-paralisia*<sup>486</sup>; solastalgia; e *econostalgia*<sup>487</sup>.

Segundo o autor, como consequência das implacáveis pressões de desenvolvimento interconectadas e das mudanças ambientais globais, as doenças/enfermidades somaterráticas e psicoterráticas tendem a aumentar. À medida que o ecossistema e a saúde climática declinam, poderá ocorrer a erosão correspondente da vitalidade da saúde psíquica e somática humana. Infelizmente, as interações sinérgicas entre o sofrimento biofísico e psíquico estão agora implicadas em muitos tipos de *disbioses* (desequilíbrios) relacionadas à Terra.

Por fim, além dos conceitos já discutidos, pode-se citar um termo menos comuns, como: o *transtorno de déficit da natureza*<sup>488</sup>, o qual descreve os custos humanos da alienação da natureza, entre eles: uso diminuído dos sentidos, dificuldades de atenção e taxas mais altas de doenças físicas e emocionais; e a preocupação biosférica, que refere-se a um tipo de estresse que as pessoas sentem ao ver a natureza vulnerável e danificada<sup>489</sup>, como a morte de plantas (desmatamento) e animais (tráfico) entre outros danos gerais ao meio ambiente.

<sup>485</sup> O *transtorno afetivo sazonal* (também conhecida como *SAD*, sigla do inglês para *Seasonal Affective Disorder*) é uma forma de depressão sazonal ou “depressão de inverno”. Pessoas com *SAD* experimentam alterações de humor e sintomas semelhantes aos da depressão. Os sintomas geralmente ocorrem durante os meses de outono e inverno, quando há menos luz solar, e geralmente melhoram com a chegada da primavera. O *SAD* é mais do que apenas uma “tristeza de inverno”. Os sintomas podem ser angustiantes e opressores, podendo interferir no funcionamento diário. No entanto, ele pode ser tratado. Nos EUA, cerca de 5% dos adultos experimentam o *SAD*, que normalmente dura cerca de 40% do ano. O transtorno, que costuma acometer mais mulheres do que os homens, tem sido associado a um desequilíbrio bioquímico no cérebro causado por horas mais curtas de luz do dia e menos luz solar no inverno. À medida que as estações mudam, as pessoas experimentam uma mudança em seu relógio biológico interno ou ritmo circadiano que pode fazer com que fiquem fora de sintonia com sua programação diária. Logo, o *SAD* é mais comum em pessoas que vivem em altas latitudes (longe do equador), onde há menos horas de luz do dia no inverno (APA, 2020b).

<sup>486</sup> A incapacidade de responder de forma significativa aos desafios climáticos e ecológicos que enfrentamos nem sempre é uma expressão de apatia. A natureza intratável dos problemas, o fato de estarem vinculados aos próprios fundamentos de nossa economia atual, gera dilemas nunca antes vistos na história humana. As pessoas parecem apáticas e desligadas da realidade à medida que ela se desenrola, mas seu distanciamento pode ser uma *ecoparalisia* em vez de apatia ou evasão (ALBRECHT, 2011).

<sup>487</sup> No passado, as pessoas que se mudavam de seu ambiente doméstico podiam sofrer a angústia da separação, ou nostalgia. No entanto, a *econostalgia* está

conectada a situações em que as pessoas retornam a um local biofísico que é “casa” apenas no nome, mas que foi totalmente transformado em sua ausência pelo desenvolvimento ou pela mudança climática. Eles não têm “experiência vivida” do processo de mudança, portanto, não sofrem de solastalgia; no entanto, sua nostalgia por uma realidade passada à qual eles estavam intimamente ligados irá produzir uma séria melancolia (ALBRECHT, 2011).

<sup>488</sup> O *transtorno de déficit da natureza* é a ideia de que os seres humanos, principalmente as crianças, passam menos tempo ao ar livre, e a crença de que essa mudança resulta em uma ampla gama de problemas de comportamento. Esse transtorno não é reconhecido em nenhum dos manuais médicos para transtornos mentais. As causas do transtorno de déficit da natureza incluem medos dos pais, acesso restrito a áreas naturais e a atração de dispositivos eletrônicos. O déficit da natureza pode até mudar o comportamento humano nas cidades, o que pode afetar seu desenho, visto que pode haver relação entre a ausência ou inacessibilidade de parques e espaços abertos com altos índices de criminalidade, depressão e outras doenças urbanas (LOUV, 2008).

<sup>489</sup> Devido à atividade humana, houve e ainda existe uma enorme perda de florestas em todo mundo. Notícias sobre tais eventos têm um impacto estressogênico nas populações ocidentais, devido ao aumento da consciência ecológica. As pessoas acreditam que um importante patrimônio mundial tem sido danificado e perdido. Esse sentimento agora é conhecido como uma *preocupação biosférica* (CIANCONI; BETRÒ; JANIRI, 2020).

### I.2.8.2. Origem da eco-ansiedade<sup>490</sup>

Vimos até agora um caminho que partiu de cenários do colapso climático provocado pelos setores midiáticos (TV, rádio, jornais, revistas), culturais (filmes, cinema), científicos (artigos de periódicos, relatórios técnicos e livros acadêmicos), discursos de políticos [representantes nacionais (presidentes) e internacionais (ONU)], de religiosos (papa), bem como falas de personalidades populares diversas [ativistas, ambientalistas, artistas, celebridades etc., via redes sociais (*Twitter*, *Facebook*, *Youtube* etc.)], todos contribuindo com mensagens e imagens assombrosas, indutoras do medo, da *eco-culpa*, *eco-ansiedade* etc.

Tal *ecofobia* exagerada costuma ter efeitos indesejáveis, paralisantes, incapacitantes ou de simples descaso e indiferença. Não é a primeira vez que o “tiro sai pela culatra”. Faz uns 35 anos que houve uma campanha de desinformação ambiental, contraproducente, que culminou em efeitos negativos nas pessoas. Tal episódio de *doença ambiental*, ocorrido na década de 1980, ficou conhecido como a “*Doença do séc. 20*” (BLACK; RATHE; GOLDSTEIN, 1990). Antes, cabe fazer uma breve retrospectiva histórica, contextualizando os fatos que sustentaram uma epidemia de irracionalidade – cujas características se assemelham à *doença psicogênica em massa*<sup>491</sup>.

Na segunda metade do séc. 20 (1950-2000), a conscientização pública sobre os produtos químicos neurotóxicos foi intensificada pelas descrições da mídia

sobre desastres químicos em massa envolvendo centenas, senão milhares, de vítimas. Muitos desastres químicos em massa alimentaram movimentos ambientalistas, forçaram a elaboração de novas legislações ambientais e mudaram a percepção pública sobre o governo e a indústria. No entanto, como um efeito colateral decorrente da overdose de notícias negativas, causou resultados adversos à saúde mental de muitos indivíduos. A maioria dos principais desastres químicos em massa de importância psiquiátrica (listados após o final desse parágrafo) produziram efeitos psicossociais significativos nas comunidades, regiões, nações e até nas relações internacionais. Outros eventos afetaram menos indivíduos, mas mostram a importância da avaliação psiquiátrica e do tratamento de exposições químicas. Em alguns desastres, o estresse e o trauma causaram os principais sintomas psicológicos; em outros, a lesão neurotóxica causou sequelas físicas e, conseqüentemente, desencadeou disfunções cognitivas e mentais. Livros, programas de televisão e filmes de *eco-terror*<sup>492</sup> mais vendidos retrataram alguns desses eventos para o público.

- **1940-1945:** *Segunda Guerra Mundial* (produtos químicos bélicos, gases tóxicos/letais – risco químico);
- **1945:** *Bombas atômicas em Hiroshima e Nagasaki*<sup>493</sup>, Japão (risco nuclear, radioatividade);
- **1955-1975:** *Guerra do Vietnã* (agente laranja<sup>494</sup> – risco químico);
- **1956:** *Desastre de Minamata*<sup>495</sup>, Japão (envenenamento por mercúrio – risco químico);

<sup>490</sup> Baseado em Brown (2002).

<sup>491</sup> Também conhecida como *transtorno psicogênico em massa*, ou *histeria em massa*, *histeria epidêmica*, é definida como uma constelação de sintomas sugestivos de doença orgânica, mas sem possuir uma causa identificável, que ocorre entre duas ou mais pessoas que compartilham crenças relacionadas a esses sintomas. Consiste na rápida disseminação de sinais e sintomas de doenças que afetam membros de um grupo coeso (pessoas em um bairro, uma fábrica ou escola), originados de um distúrbio do sistema nervoso envolvendo excitação, perda ou alteração da função, pelo qual queixas físicas que são exibidas inconscientemente, sem possuir qualquer etiologia orgânica correspondente. Às vezes, as pessoas em um grupo começam a pensar que podem ter sido expostas a algo perigoso, como um germe ou uma toxina (veneno). Eles podem apresentar sinais de doença, como dor de cabeça, tontura, desmaio, fraqueza ou sensação de asfixia. Se muitas pessoas no grupo começarem a se sentir mal mais ou menos ao mesmo tempo, então elas passaram a desenvolver a *doença psicogênica em massa*. Tal doença, descrita pela primeira vez há mais de 600 anos, tem relatos de diversas ocorrências em variadas culturas e ambientes (BOSS, 1997). Para mais detalhes, consultar AFP (2000), Jones (2000) e Mass (2021).

<sup>492</sup> Filmes do gênero *eco-terror* começaram a surgir na década de 50, quando as ansiedades nucleares atingiam o auge. Assim, o *eco-terror* nasceu como uma série de filmes de “monstros nucleares”. Horror é uma palavra poderosa, que evoca sentimentos de repugnância, aversão, pavor e terror absoluto. Eventos horríveis acontecem no mundo todos os dias, então é natural que esses eventos façam parte da imaginação coletiva por meio da literatura, do cinema e de outras formas de arte e discurso popular. Filmes com temas ambientais não são novidade. Na década de 1970, outra era definida pela crise do petróleo e discussões sobre energias alternativas, o público de filmes se divertia com filmes de desastres e de criaturas. Hoje em dia, o

mote dos filmes se baseia em frases e no imaginário catastrófico sobre a mudança climática global, a sexta extinção e injustiça ambiental, alertando para os eventos horríveis relacionados. Assim, como a mudança climática assumiu como “a ameaça ambiental mais urgente do planeta”, os praticantes do *terror verde* continuam a tornar os monstros da humanidade mais generalizados e inevitáveis. O *eco-terror*, existente desde sempre, agora assume uma premissa mais simples e primitiva: o homem destrói a natureza e, a natureza, implacável, revida e se vinga do homem. Os filmes de *eco-horror* de hoje também apelam para a imagem de que todo o planeta é visto como vingativo e malévolo com seus habitantes humanos. Nas novas obras do *eco-desastre* e *eco-catástrofes*, a “mãe natureza” se transforma em “natureza monstro”, à medida que a destruição do meio ambiente pelo homem precipita conseqüências cataclísmicas. Segundo Weinstock (2014), claramente dando forma ao tipo de ansiedade incipiente produzida pela retórica apocalíptica em torno do aquecimento global, essas narrativas retratam as ramificações da alteração do ambiente natural em uma escala maciça e são particularmente perturbadoras porque – ao contrário das máquinas mortas reanimadas ou conscientes – o ataque e vingança da natureza não podem ser combatidos ou resistidos, apenas sobrevividos. Listas e críticas de filmes do gênero *eco-terror* podem ser consultadas em: Ulaby (2008); Merchant (2012); e Rust e Soles (2014).

<sup>493</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Atomic\\_bombings\\_of\\_Hiroshima\\_and\\_Nagasaki](https://en.wikipedia.org/wiki/Atomic_bombings_of_Hiroshima_and_Nagasaki)

<sup>494</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Agent\\_Orange](https://en.wikipedia.org/wiki/Agent_Orange)

<sup>495</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Minamata\\_disease](https://en.wikipedia.org/wiki/Minamata_disease)



- **1970:** *Desastre de Love Canal*<sup>496</sup>, EUA (lançamento de resíduos químicos – risco químico);
- **1979:** *Desastre de Three Mile Island*<sup>497</sup>, EUA (derretimento de reator da usina – risco nuclear, radioatividade);
- **1984:** *Desastre de Bhopal*<sup>498</sup>, Índia (vazamento de gás tóxico – risco químico);
- **1986:** *Desastre de Chernobyl*<sup>499</sup>, Rússia (explosão de reator da usina – risco nuclear, radioatividade); e
- **1991:** *Guerra do Golfo*<sup>500</sup> (armas químicas – risco químico)

A produção e o consumo de muitos produtos químicos envolvem interesses econômicos/políticos conflitantes, profundas discussões, controvérsias e, quando ocorrem acidentes de grandes proporções ambientais e sociais, o medo gerado na população é uma consequência duradoura inevitável. Diante das incertezas e apavorantes riscos associados às substâncias perigosas, muitas pessoas passaram a alegar incapacidades, física e mental, devido a exposições a produtos químicos diversos. Alguns cientistas contribuíram fortemente com a crença dos efeitos deletérios do contato com os novos produtos químicos. Em 1947, o alergista Theron Randolph, considerado o “Pai da Ecologia Clínica”, propôs o conceito de *Sensibilidades Químicas Múltiplas (SQM)*, ao teorizar que as alergias alimentares causavam fadiga, irritabilidade e problemas de comportamento em crianças. Ele hospitalizava os pacientes e os tratava com “controle ambiental abrangente” (isolamento), durante o qual permaneciam em unidades especiais sem exposição a remédios, cosméticos, perfumes ou outros produtos químicos. Durante um período de 4 a 7 dias, os pacientes se afastavam e se “desintoxicavam” dos produtos químicos e, após esse “retiro”, diziam que desenvolviam uma sensação de bem-estar. O tratamento recomendado frequentemente envolvia viver em moradias especialmente construídas em estilos de vida reclusos para evitar todos os níveis de exposição a produtos químicos. Outros tratamentos incluíram “procedimentos de neutralização”, megadoses de vitaminas, remédios antimicóticos, enemas e curas por sudorese. Esse campo ficou conhecido como “Ecologia Clínica”, mas nunca foi aceito pela medicina tradicional.

Assim, na década de 1980, a *doença ambiental* começou a atrair enorme atenção na mídia e na comunidade científica, especialmente entre os médicos. A subcultura da doença ambiental desenvolveu-se em torno desse

conceito que é liderado, mas não limitado, a profissionais que se autodenominavam *Ecologistas Clínicos*. Esses médicos não tradicionais afirmavam ter experiência especial em diagnosticar e tratar a doença ambiental e suas manifestações. Na época, existia uma extensa rede de ecologistas clínicos nos Estados Unidos, Canadá e Grã-Bretanha, muitos dos quais possuíam suas próprias organizações profissionais, periódicos, hospitais e clínicas especiais.

A doença ambiental ficou conhecida como a “Doença do séc. 20”, ou “síndrome da alergia total”, uma condição atribuída à hipersensibilidade ao meio ambiente que às vezes era vista como tão grave que o paciente era incapaz de viver no mundo moderno. Os casos leves eram caracterizados por uma variedade de sintomas psicológicos e físicos, como depressão, fadiga, irritabilidade, falta de concentração, enxaqueca, problemas intestinais e respiratórios. Em casos graves, era insuportável o paciente viver no mundo moderno, pois sentia que estava tendo reações alérgicas e potencialmente fatais a muitas substâncias, incluindo roupas, móveis, equipamentos elétricos (“alergia à radiação eletromagnética”), materiais de construção, alimentos, água e até mesmo o ar. As reações eram tão variadas quanto as causas.

Pacientes com esta condição supostamente tinham uma *doença induzida pelo ambiente* ou uma *doença de hipersensibilidade química*, mas outros sinônimos também foram usados, dependendo da forma da doença que acredita-se que o paciente sofria (*síndrome de desregulação imunológica*, *alergia cerebral* etc.). O conceito subjacente à doença ambiental é que alimentos e substâncias químicas comuns teriam a capacidade de provocar uma desregulação do sistema imunológico, o que explicava o desenvolvimento de transtornos físicos e mentais. Diante do ceticismo da comunidade médica tradicional, estudos científicos foram sendo conduzidos (BLACK, RATHE; GOLDSTEIN, 1990), e os resultados provavam que muitos sintomas da doença ambiental se sobrepunham a síndromes psiquiátricas reconhecíveis, que, se diagnosticadas, oferecem uma explicação mais parcimoniosa para os sintomas.

Assim, cientistas e médicos da época concluíram que pacientes com doença ambiental eram mais propensos a possuírem transtornos mentais grave, especialmente transtornos de humor, transtornos de ansiedade e transtornos somatoformes. Portanto, passou-se a

<sup>496</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Love\\_Canal](https://en.wikipedia.org/wiki/Love_Canal)

<sup>497</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Three\\_Mile\\_Island\\_accident](https://en.wikipedia.org/wiki/Three_Mile_Island_accident)

<sup>498</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Bhopal\\_disaster](https://en.wikipedia.org/wiki/Bhopal_disaster)

<sup>499</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Chernobyl\\_disaster](https://en.wikipedia.org/wiki/Chernobyl_disaster)

<sup>500</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Gulf\\_War](https://en.wikipedia.org/wiki/Gulf_War)

recomendar diagnósticos psiquiátricos como uma explicação para pacientes com múltiplos sintomas mal definidos na ausência de achados clínicos ou laboratoriais.

### 1.2.8.3. Eco-ansiedade na atualidade<sup>501</sup>

Ouvir e ler notícias constantes de eventos catastróficos sobre as mudanças climáticas pode fazer você se sentir preocupado, com raiva ou frustrado. *Eco-ansiedade*<sup>502</sup>, *solastalgia*, *luto ecológico*, *ansiedade climática*, *depressão climática* são termos que foram cunhados recentemente para descrever alguns desses sentimentos associados a doenças ambientais. A cobertura jornalística está constantemente repleta de histórias apocalípticas de tempestades e incêndios florestais. Os jovens, absorvendo a gravidade dessas advertências, tornaram-se a face definidora do movimento climático – marchando, protestando e repreendendo os mais velhos por lhes legar um futuro incerto e instável. Por trás de sua raiva, porém, está outra palavra: ansiedade. E é algo que eles estão expressando cada vez mais. Os professores ouvem seus alunos falarem sobre ataques de pânico quando começam os incêndios florestais, e os psicólogos enfrentam

pacientes jovens chorando sobre o medo de nunca ter uma família.

Como lidar com esses medos? O mundo adulto parece inseguro, na melhor das hipóteses. Alguns pais acham que é importante superar a angústia e continuar falando com seus filhos. Por um lado, ao serem abertos e honestos e reconhecerem que os filhos têm sentimentos, os pais validam que são causas justas. Ao mesmo tempo, os pais lamentam terem que se posicionar e tentar atenuar uma aflição descabida. Deve ser angustiante ver seu filho sofrendo de verdade com esse difícil tema de lidar.

Pais, professores e profissionais médicos em todo o mundo se encontram frente a frente com um dilema: como criar uma geração para olhar para o futuro com esperança quando ao seu redor circula uma mensagem de aparente desesperança? Como você prepara as crianças de hoje para um mundo definido pelo trauma ambiental sem infligir mais trauma a si mesmo? E onde você encontra a linha entre educação responsável e alarmismo indevido?

Estudos<sup>503</sup> e notícias<sup>504,505,506,507,508,509</sup> tem cada vez mais apontado que o alarmismo climático está

<sup>501</sup> Baseado em Shellenberger (2020).

<sup>502</sup> A *eco-ansiedade* pode ser definida, de modo simples, como um medo crônico de desastres ecológicos e ambientais. Ela é caracterizada por uma preocupação severa e debilitante com os riscos que podem ser insignificantes e não está relacionado ao comportamento mais proativo associado à preocupação ecológica habitual (GIFFORD; GIFFORD, 2016). A eco-ansiedade está relacionada a um ambiente em mudanças e repleto de incertezas. As pessoas ficam oprimidas pela escala, complexidade e “perversidade” dos problemas a serem enfrentados (GALWAY et al., 2019).

<sup>503</sup> Gifford e Gifford (2016); Pihkala (2020a); entre diversos outros já citados anteriormente ao longo deste ensaio.

<sup>504</sup> Ward (2019). Excertos:

Quatro em cada cinco (ou 80%) estudantes australianos relatam estar um pouco ou muito ansiosos com a mudança climática, com quase metade deles experimentando essas emoções semanalmente. (...) O impacto das mudanças climáticas na saúde mental está cada vez mais se tornando um foco para pesquisas psicológicas.

<sup>505</sup> Mcdougall (2019). Excertos:

A crise climática está causando níveis sem precedentes de estresse e ansiedade para as pessoas na Groenlândia (...). As pessoas agora apresentam sintomas de ansiedade, luto ecológico e até estresse pós-traumático relacionado aos efeitos das mudanças climáticas.

<sup>506</sup> Malo (2018). Excertos:

Depressão e ansiedade estão afligindo os americanos, que estão preocupados com o destino do meio ambiente. (...) Os mais atingidos são mulheres e pessoas de baixa renda. Os sintomas incluem noites agitadas, sentimentos de solidão e letargia. A mudança climática é um estressor global persistente.

<sup>507</sup> Taylor e Murray (2020). Excertos:

O impacto físico da crise climática é impossível de ignorar, mas os especialistas estão cada vez mais preocupados com outra consequência menos óbvia da escalada da emergência – a pressão que ela está exercendo sobre o bem-estar mental das pessoas, especialmente dos jovens. (...) As pessoas estavam essencialmente

enfrentando uma enxurrada de informações negativas e tendências decrescentes em seu trabalho... e quanto mais se envolviam com o problema, mais percebiam o que precisava ser feito – e mais sentiam que isso era maior do que sua capacidade para implementar mudanças significativas. As consequências disso podem ser terríveis – ansiedade, esgotamento e uma espécie de paralisia profissional. (...) não apenas cientistas e pesquisadores estavam sofrendo. Há uma grande necessidade entre os pais, por exemplo, que estão pedindo apoio para conversar com seus filhos sobre isso. (...) [O pesquisador] começou a se concentrar nos jovens, ele presumiu que a maioria seriam adolescentes mais velhos ou, pelo menos, começaram o ensino médio. Mas ele logo descobriu níveis preocupantes de estresse e ansiedade relacionados ao meio ambiente em crianças muito mais novas. “O que mais me surpreendeu é o quão jovem começa a consciência e a ansiedade. Minha própria filha tinha apenas seis anos quando veio até mim e disse: ‘Papai, estamos vencendo a guerra contra as mudanças climáticas?’”.

<sup>508</sup> Plautz (2020). Excertos:

“Por que devo estudar para um futuro que não terei?” Ela pensa sobre a mudança climática todos os dias, ela me diz. Ela lê “sobre como estamos no limite” e ouve seus professores e pais dizerem que cabe a sua geração consertar as coisas. “Não entendo por que eu deveria estar na escola se o mundo está em chamas”, diz ela. “Qual é o sentido de trabalhar na minha educação se não lidarmos com isso primeiro?”. (...) A Academia Americana de Pediatria emitiu uma declaração em 2015 alertando que as mudanças climáticas representam ameaças à ‘saúde mental e física das crianças’ e que ‘deixar de tomar medidas imediatas e substantivas seria um ato de injustiça para todas as crianças’. (...) [Uma psiquiatra relata que] a preocupação diária com a escala sem precedentes do risco representado pela mudança climática tem um grande impacto no bem-estar de um indivíduo, desgastando-o, levando alguns ao ‘ponto de ruptura’. As crianças são especialmente vulneráveis. Entrevistar crianças sobre seus medos pela natureza e suas preocupações com suas futuras famílias deixa com ‘uma sensação de vergonha’. [Para a psiquiatra foram palavras] ‘realmente dolorosas’ de escrever.

<sup>509</sup> Elks (2019). Excertos:

As crianças estão dizendo coisas como: ‘a mudança climática está aqui como vingança, você bagunçou o clima e a natureza está lutando contra a mudança

contribuindo para o aumento da ansiedade e da depressão, especialmente entre as crianças. Em 2017, a Associação Americana de Psicologia diagnosticou o aumento da eco-ansiedade e a chamou de “um medo crônico sobre a destruição ambiental” (CLAYTON et al., 2017). Em set/2019, psicólogos britânicos alertaram sobre o impacto nas crianças quanto às discussões apocalípticas sobre as mudanças climáticas. Em 2020, uma grande pesquisa no Reino Unido descobriu que uma em cada cinco (ou 20%) crianças britânicas estava tendo pesadelos com as mudanças climáticas<sup>510</sup>.

#### 1.2.8.4. Sintomas da eco-ansiedade/ansiedade climática

Um dos primeiros grandes estudos envolvendo os impactos psicológicos das mudanças climáticas globais foi o trabalho de Doherty e Clayton (2011)<sup>511</sup>, no qual descreveu-se três classes de impactos psicológicos: diretos (efeitos agudos ou traumáticos de eventos climáticos extremos e um ambiente alterado); indiretos (ameaças ao bem-estar emocional com base na observação de impactos e preocupação ou incerteza sobre riscos futuros); e psicossociais (efeitos sociais e comunitários crônicos do calor, seca, migrações e conflitos relacionados ao clima e ajuste pós-desastre).

Extremamente comuns na população em geral, os transtornos de ansiedade são marcados por medo excessivo (e evitação), muitas vezes em resposta a objetos ou situações específicas que não oferecem um perigo real. Entre todas as classes de transtornos (de ansiedade, de humor, de controle de impulso e de abuso de substância), a prevalência ao longo da vida<sup>512</sup> de qualquer transtorno de ansiedade é o maior de todos, com 28,8% nos EUA (SHIN; LIBERZON, 2010; KESSLER et al., 2005), e 28,1% na região metropolitana de São Paulo (VIANA; ANDRADE, 2012). Em outras palavras, o transtorno de ansiedade atinge aproximadamente um terço das pessoas ao longo de suas vidas.

A construção da preocupação com as mudanças climáticas envolve principalmente pensamentos

linguísticos-verbais (ao invés de imagens) sobre as mudanças que podem ocorrer no sistema climático e os possíveis efeitos dessas mudanças. Esses pensamentos podem ser persistentes, repetitivos ou difíceis de controlar. A preocupação com o clima pode envolver um enfoque no aumento da severidade do clima. Alternativamente, a mudança climática pode exigir respostas de enfrentamento e adaptação, cuja natureza desconhecida pode ser um ponto focal de preocupação. As pessoas também podem se preocupar com os efeitos das mudanças climáticas sobre outras pessoas, *habitats*, estilos de vida, meios de subsistência, saúde e assim por diante. Com moderação, a preocupação pode ajudar uma pessoa a se ajustar e se adaptar a um clima alterado. A preocupação excessiva, no entanto, pode impedir os esforços de adaptação e resultar em tensão, angústia e diminuição da capacidade de resolver problemas. Esses níveis elevados de preocupação também podem contribuir para outros desafios emocionais, como ansiedade ou depressão.

A ansiedade provocada pela ameaça de mudanças ambientais e climáticas (*eco-ansiedade* e *ansiedade climática*, respectivamente) pode ser *adaptativa* ou *não adaptativa*. A ansiedade adaptativa pode motivar o ativismo climático e a mudança de comportamentos, como esforços para praticar a reciclagem e reduzir a “pegada de carbono”. A ansiedade desadaptativa pode assumir a forma de passividade ansiosa, em que a pessoa se sente ansiosa, mas incapaz de lidar com o problema das mudanças climáticas, podendo assumir a forma de um transtorno de ansiedade desencadeado ou exacerbado por estressores climáticos.

A ansiedade climática pode ser uma reação apropriada a uma ameaça realista ou pode ser excessiva e desproporcional. A distinção é importante: níveis apropriados de ansiedade podem servir como um motivador, fornecendo um ímpeto para as pessoas tomarem medidas para enfrentar as ameaças climáticas, como encontrar maneiras de reduzir suas emissões de carbono. Infelizmente, no entanto, algumas pessoas que experimentam níveis exagerados de ansiedade podem cair em desamparo e desespero se acreditarem que seus

climática'. (...) 'Não tenho dúvidas de que eles estão sofrendo um impacto emocional, que o medo real das crianças precisa ser levado a sério pelos adultos', disse um especialista”.

<sup>510</sup> Thomson Reuters Foundation (2020). Excertos:

Um psicólogo clínico infantil de Londres disse que os jovens estavam claramente temerosos sobre as mudanças climáticas, com a pesquisa revelando que 58% estavam preocupados com o impacto que as mudanças climáticas terão em suas vidas. (...) Figuras públicas como David Attenborough [locutor inglês e historiador natural] e Greta Thunberg ajudaram os jovens a expressar suas preocupações e temos que nos certificar de que nós, como adultos, os escutamos e os ajudamos a se envolverem em mudanças positivas. (...) [mas a pesquisa] descobriu que dois em cada cinco (ou 41%) dos jovens não confiam nos adultos para enfrentar a crise

climática. 'Todos nós precisamos apoiá-los para que não se sintam desesperançados, mas sim para apresentar-lhes mensagens esperançosas e equilibradas sobre seus futuros e garantir que recebam a ajuda profissional certa se sua ansiedade for excessivamente alta”.

<sup>511</sup> Conforme listado na nota de rodapé n. 522, os autores também abordaram as principais respostas perante aos efeitos psicológicos das mudanças climáticas.

<sup>512</sup> A *prevalência* é a proporção de uma população que possui uma característica específica em um determinado período de tempo. A *prevalência ao longo da vida* é a proporção de uma população que, em algum momento da vida, já teve determinada característica (NIMH, 2017).

atos pessoais ou coletivos são insuficientes para lidar com o desafio das mudanças climáticas.

Os sintomas de eco-ansiedade e/ou da ansiedade climática (um subconjunto da eco-ansiedade) podem ser vistos em uma escala de leve a grave (conforme listado na **Tabela 15**), mas deve-se observar que os sintomas leves

também podem ser persistentes e afetar a capacidade de funcionamento habitual e o bem-estar. De acordo com Pihkala (2019), os psicólogos recomendaram monitorar os seguintes sintomas preliminares: distúrbios do sono/insônia; mudança de humor; superestimulação; e diminuição dos níveis de energia.

Tabela 15 – Sintomas de eco-ansiedade e/ou ansiedade climática	
SINTOMAS LEVES	SINTOMAS GRAVES
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Distúrbios do sono, insônia ocasional, cansaço ao longo do dia (por dormir mal);</li> <li>• Tristeza, inquietação (sintomas mais leves de ansiedade);</li> <li>• Níveis diminuídos ocasionais de ânimo, paralisia temporária, por exemplo, ao tomar decisões morais;</li> <li>• Alterações no humor; e</li> <li>• Comportamento sintomático mais suave, como a tendência de ação única ou dissociação leve (a pessoa sente uma necessidade maior de reciclar com eficiência, esperando que as questões climáticas globais perceptivelmente melhorem como consequência de suas ações).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sintomas psicossomáticos significativos: insônia grave, estados de depressão, ataques de pânico, ansiedade clinicamente definível (“transtorno de eco-ansiedade”);</li> <li>• Dificuldade de manter o funcionamento cotidiano, especialmente quando confrontado com notícias sobre mudanças climáticas, suas consequências e cenários de ameaças;</li> <li>• Pensamento obsessivo; comportamento compulsivo, incluindo comportamentos chamados de “anorexia climática” ou “ortorexia climática”; e</li> <li>• Comportamentos autodestrutivos mais graves, por exemplo, abuso de substâncias, autoagressão e suicídio.</li> </ul>

Fonte: adaptado de Pihkala (2019).

Entre os sintomas graves da eco-ansiedade, chama a atenção o desejo autodestrutivo (suicídio). Varshini Prakash, uma diretora executiva de grupo de ativismo climático voltado para jovens relatou (CONTRERAS,

2020) que não é incomum em seu grupo encontrar crianças que pensaram em suicídio por causa da crise climática, conforme detalhes em entrevista (GIRIDHARADAS, 2020):

**Entrevistador:** – Você já testemunhou uma mudança na experiência interior da juventude sobre a sentença de morte do clima pairando sobre a cabeça das pessoas? Você acha que muitos jovens sentem que suas infâncias foram roubadas?

**Varshini:** – É desenfreado. Vamos aos treinamentos e as crianças compartilham histórias realmente intensas de contemplação do suicídio. Não quero chamar de niilismo porque não é algo teórico. As pessoas estão realmente sentindo um profundo pressentimento – uma falta de ação, basicamente.

**Entrevistador:** – Você está dizendo que ouve jovens pensando em suicídio por causa do clima, especificamente?

**Varshini:** – Sim. Por causa da crise climática. Não é incomum. (...) Você está olhando (...) todos os tipos de coisas terríveis e malucas (...). Você está vendo essas tempestades, está vendo os incêndios, está vendo o furacão iminente. (...) E agora estamos ouvindo sobre cada questão de violência armada, mudança climática, supremacia branca, fascismo, a pandemia. Além disso, você tem isolamento social. É simplesmente brutal para os jovens. Acho que estamos realmente em uma encruzilhada. Poderíamos perder uma geração inteira para uma sensação de ansiedade e depressão, uma sensação de “não consigo lidar com isso”.

[GIRIDHARADAS, 2020, não paginado (*online*); tradução nossa]

Uma característica especial da eco-ansiedade é que ela é indefinível e atinge todos os lugares. Por exemplo, no casos das mudanças climáticas, ao parecer que ela afeta tantas coisas, seu impacto é considerável e, ao mesmo tempo, obscuro. A preocupação quanto às mudanças climáticas frequentemente introduz mais fatores de

estresse em situações que tradicionalmente já carregam muito estresse, como cuidar da casa, de crianças e planejar o futuro. Em outras palavras, a ansiedade climática está combinada na vida das pessoas com outras ansiedades, como aquelas relacionadas à escolha de uma profissão. É possível a vida de uma pessoa tenha vários fatores

causando uma ansiedade mais profunda, entre elas a eco-ansiedade. Portanto, sempre é necessário fazer uma avaliação crítica da situação geral para identificar quais os fatores ansiogênicos mais preponderantes.

Trabalho recente (STEWART, 2021) descreve o desenvolvimento de uma *Escala de Preocupação com as Mudanças Climáticas*, cuja medida é estabelecida com base em um questionário, com 10 perguntas, projetado para avaliar o nível de pensamentos preocupantes e perturbadores que as pessoas experimentam sobre as mudanças climáticas. Outro trabalho (CLAYTON; KARAZSIA, 2020) apresenta e testa uma *Escala de Ansiedade Climática*, cujos resultados sugerem que a ansiedade pelas mudanças climáticas não é incomum, especialmente entre os adultos mais jovens.

Além das mudanças climáticas, a crescente preocupação com a seriedade de problemas ambientais tem gerado intensas pesquisas sobre repercussões psicológicas e comportamentais. Um artigo (CRUZ; MANATA, 2020) apresenta uma extensa revisão de diversas escalas (*Escala de Preocupação Ambiental*, *Escala de Atitude Ecológica*, *Escala de Paradigma Ambiental*, entre outras) que têm sido desenvolvidas para medir a preocupação e atitudes ambientais nas pessoas.

### I.2.8.5. Preocupação e atitudes ambientais<sup>513</sup>

No campo da Psicologia Ecológica e Psicologia Social Ambiental, muito tem sido discutido na teoria social cognitiva associadas ao nível de preocupação ambiental (PA) nas pessoas. Pelo seu comportamento, os humanos são responsáveis pelos problemas ambientais. E as soluções desses problemas, estão na mudanças desses comportamentos. Nesse contexto, para se entender as causas dos problemas ambientais, os psicólogos e cientistas sociais estudam as atitudes, o comportamento, a crença e o conhecimento das pessoas perante às PAs.

Uma atitude pode dar origem a respostas cognitivas, afetivas ou comportamentais. As respostas cognitivas de uma atitude são “crenças”. O conhecimento é um tipo particular de crença, uma crença reconhecida como verdadeira em virtude de um critério estabelecido. O componente afetivo de uma atitude refere-se a sentimentos, estados de espírito ou emoções vivenciados em relação ao objeto de atitude. Por fim, a resposta comportamental se refere a uma ação aberta em relação ao objeto da atitude, bem como as intenções de agir.

As atitudes não podem ser observadas diretamente. Na maioria das vezes, a medição das atitudes baseia-se em relatos verbais de indivíduos solicitados a responder ou

indicar alternativas sobre a concordância/discordância com uma série de afirmações em uma escala de atitudes. Isso significa que os pesquisadores confiam essencialmente nas crenças para medir as atitudes.

Segundo Sabourin e Lamarche (2009), a visão tradicional e dominante do mundo que se baseia no individualismo, *laissez-faire*<sup>514</sup>, progresso e crescimento, os quais pertencem a um paradigma que está em contradição com o “Novo Paradigma Ambiental” (NPA), que é mais sólido, humano e ecológico. É um paradigma que enfatiza uma harmonia necessária entre os humanos e seu planeta. Segundo os referidos autores, com o objetivo de verificar a oposição entre o NPA, construiu-se uma escala para medir o “Paradigma Social Dominante” (PSD). Assim, estudou-se a relação entre preocupações ambientais e valores. Descobriu-se que três valores estão associados à preocupação ambiental: *egoísta*, *altruísta* e *biosférico*. O objetivo do primeiro valor é maximizar o bem-estar pessoal; o segundo valor expressa preocupação com o que pode acontecer a outras pessoas; enquanto que, do terceiro valor, decorre uma preocupação com o futuro do ecossistema planetário em termos gerais. Diversos estudos posteriores modelam, calculam e estimam a proporção de cada fator no comportamento das pessoas quanto às PAs. O comportamento pró-ambiental pode incluir atitudes de compras pessoais (comer somente alimentos orgânicos, por exemplo), comportamento no transporte (utilizar transporte público, invés de veículos próprios), reciclagem e participação ativa em uma organização pró-meio ambiente. Valores egoístas são frequentemente sugeridos como resultando em resistência ou mesmo oposição ativa à proteção ambiental.

De modo geral, nota-se que as atitudes em relação ao meio ambiente são positivas. No entanto, essas atitudes nem sempre são acompanhadas por comportamentos consistentes, e existem diversas razões para isso. Mas um motivo em especial representa um fator crucial: é mais fácil de dizer do que fazer. Na verdade, é simples responder um questionário que apoiamos e favorecemos a proteção ambiental; no entanto, frequentemente é muito mais difícil seguir e praticar essa afirmação, mesmo quando o motivo por trás de dizê-la seja sincero. Apesar das crenças fundamentadas na vontade e na benevolência, as atitudes comportamentais, na prática, não correspondem às expectativas idealizadas no campo da crença e da intenção de agir.

No estudo de Helm et al. (2018), testou-se um modelo relacionado as preocupações ambientais no contexto da adaptação psicológica às mudanças

<sup>513</sup> Baseado em Sabourin e Lamarche (2009).

<sup>514</sup> Expressão francesa de “deixe fazer”, que simboliza o liberalismo econômico.

climáticas. Foram analisadas as influências dos três valores (egoísticos, altruísticos e biosféricos) da PA nas estratégias de “estresse ecológico” de “enfrentamento ecológico”, e como tais fatores estão associados a sintomas depressivos e comportamentos pró-ambientais. A pesquisa revelou que apenas os indivíduos com maior preocupação ambiental biosférica perceberam o estresse ecológico e se engajaram no enfrentamento ecológico. Em contraste, os indivíduos com maior preocupação social-altruísta não perceberam o estresse ecológico, mas se envolveram no enfrentamento ecológico. Aqueles com maior preocupação egoísta nem perceberam estresse ecológico, nem se envolveram em enfrentá-lo. Além disso, o estresse ecológico percebido foi positivamente associado a sintomas depressivos. As taxas de incidência do estresse ecológico, bem como as reações de estresse, como “eco-ansiedade” (preocupação severa e debilitante relacionada a um ambiente natural incerto e mutável) cresceu substancialmente com o volume de informações cada vez mais disponíveis sobre as ameaças das mudanças climáticas e da degradação ambiental.

#### 1.2.8.6. Ativismo e eco-ansiedade<sup>515</sup>

Conforme relatado em Steffan (2020), um estudo francês buscou estabelecer uma ligação entre o ativismo ambiental e a eco-ansiedade/depressão. Ativistas ambientais e climáticos foram questionadas usando a Escala Hospitalar de Ansiedade e Depressão (HADS, sigla do Inglês) e a Escala da Paixão de Vallerand, que mede a natureza de seu compromisso de acordo com dois tipos<sup>516</sup>: *paixão obsessiva*, prejudicial à sua saúde mental; ou *paixão harmoniosa*, que aumenta a saúde mental positiva (ou bem-estar psicológico).

Pode-se supor que o engajamento em uma associação de fins ecológicos tenha um impacto positivo na saúde mental na medida em que possibilita sentir-se útil e controlar melhor o meio ambiente pela militância. Os resultados vão em parte nesta direção: o compromisso ecológico tem um impacto positivo na saúde mental. Investir na ação, por meio da mobilização do sujeito, leva a uma melhor autoestima aliada a um sentimento de eficiência pessoal, que ameniza os estados depressivos. O comprometimento coletivo desempenha um papel importante, pois ajuda a fortalecer o sentimento de pertencimento. Fazer parte de um grupo que tem o

mesmo projeto que você permite limitar os afetos depressivos.

No entanto, os resultados também mostram que há uma forte correlação entre a pontuação da paixão obsessiva e a pontuação da ansiedade na HADS; quanto mais o compromisso é vivenciado como uma paixão obsessiva (quanto mais o sujeito tem uma necessidade incontrolável de praticar essa atividade), mais aumenta a pontuação de depressão na HADS. Esse resultado é consistente com a literatura científica: quando a paixão se torna rígida e restrita, ela interfere em outras áreas da vida do sujeito, não promovendo uma boa saúde mental. Além disso, a duração do compromisso ativista não atenua de forma alguma esse efeito.

Além disso, o nível de depressão aumenta ainda mais para ativistas que usam a desobediência civil como uma alavanca para a ação, no sentido de que esta última está fortemente ligada à paixão obsessiva. De fato, essa forma de militância extrema requer dedicação e sacrifícios pessoais muito grandes para o sucesso das ações realizadas; o resultado obtido, no entanto, muitas vezes fica aquém das expectativas dos ativistas. Além disso, por causa de seu extremismo, os militantes são obrigados a viver seu engajamento em um “grupinho fechado” que os isola do entorno tradicional: família, amigos, relações sociais atuais. Suas queixas geralmente se voltam para os políticos que lhes dão pouca atenção, e a desilusão que se segue à ação rebelde reforça os afetos depressivos.

Em relação à paixão harmoniosa, os resultados são inversamente correlacionados, embora sejam menos estatisticamente significativos: quanto mais aumenta a pontuação da paixão, mais diminui a pontuação da depressão na HADS. Lembrando que a paixão harmoniosa é praticada de forma voluntária, serena e adequada em relação às demais atividades ou esferas da vida praticadas; assim, permite às pessoas envolvidas um melhor estado de bem-estar.

Ao praticar o ativismo, o eco-ansioso dá sentido à sua vida, mas o medo da finitude não se esvai, pois a ameaça que o provocou continua presente; oscilando entre o pessimismo e o otimismo, o ativista sente que sua ação não é suficiente para salvar a humanidade. Isso levanta a questão de trabalhar em si mesmo para sair da “síndrome do salvador”. O eco-ansioso é assim confrontado tanto com ansiedades de morte individual e aniquilação da humanidade como com questões existenciais sobre o

<sup>515</sup> Baseado em Steffan (2020).

<sup>516</sup> De acordo com este modelo dualístico da paixão de Vallerand, é possível apresentar atividades apaixonantes a partir desses dois ângulos. No caso da *paixão harmoniosa*, ela é praticada de forma serena e adequada em relação às demais atividades do indivíduo. Nesse contexto, os indivíduos obtêm benefícios e um estado de bem-estar. Por outro lado, uma *paixão obsessiva* se manifesta em uma necessidade incontrolável

de praticar a atividade. Essa paixão militante torna-se então rígida, constrangida e o compromisso entra em conflito com todas as dimensões da vida deste tipo de ativista. Às vezes, os resultados alcançados (o que é difícil) podem ser gratificantes e aumentar a autoestima, mas essa paixão obsessiva não promove o bem-estar nem a boa saúde física e mental (STEFFAN, 2020).

futuro, que só se desvanecem com grande dificuldade quando o compromisso se torna uma paixão obsessiva. O empenho militante não permite sair de seus anseios de finitude, pelo contrário: enfrentá-los parece reforçá-los.

A depressão de sujeitos envolvidos em uma associação ecológica foi constatada em 34,6% dos ativistas entrevistados, em decorrência da paixão obsessiva, ansiedade e falta de paixão harmoniosa. Dessa forma, para diminuir o nível de depressão das pessoas que se apresentam como eco-ansiosas, o engajamento parece ser uma solução adequada, mas precisa ser vivenciado de forma equilibrada. Não só em relação às demais atividades do cotidiano do sujeito, mas também em relação ao compromisso ativista que não deve cair no extremismo, sob pena de haver risco de danos psicopatológicos duradouros e permanentes. Se o compromisso for vivenciado de forma muito intensa e sob coação, a probabilidade de que não tenha um impacto positivo sobre os afetos ansiosos do paciente é maior; pelo contrário, corre-se o risco de acentuá-los ao ponto de causar depressão. Em conclusão, em sua forma de paixão harmoniosa, o compromisso ecológico tem uma influência positiva sobre os afetos depressivos dos ativistas, mas a ação não reduz a ansiedade.

### 1.2.8.7. Tratamento da eco-ansiedade

A importância da narrativa para contar a história das mudanças climáticas não pode ser subestimada. Os problemas sociais não são apenas um reflexo de condições objetivas, mas sim projeções de visões coletivas, de que “um problema social existe principalmente em termos de como é definido e concebido na sociedade” (BLUMER, 1971). Muitas pessoas não experimentaram pessoalmente os efeitos de mudanças no clima, no entanto, a maioria já formou algum tipo de opinião a respeito. A mudança climática global não veio necessariamente à consciência mundial por meio da experiência local, mas sim por meio de discursos públicos globais.

Em suas primeiras reportagens sobre a ciência, os jornalistas ajudaram a estabelecer o conceito de mudança climática causada pelo homem na mente do público. Nas últimas décadas, à medida que a cobertura da mídia sobre as mudanças climáticas cresceu, o mesmo aconteceu com as pesquisas acadêmicas sobre a cobertura. Assim, todos jornalistas e cientistas empenhados nesse tema tiveram um papel central na sua divulgação e popularização. No entanto, segundo relatado por Boykoff (2011), a partir de 2009 que começou a chamar a atenção para uma nova tendência de manchetes e artigos diários explorando o medo, a miséria e a desgraça. O referido autor também citou uma pesquisa no Reino Unido que descobriu que:

Representações dramáticas e assustadoras podem aumentar a consciência e preocupação com as mudanças climáticas. Porém, esses tipos de imagens também tendem a distanciar ou desvincular os indivíduos da mudança climática, tendendo a fazê-los se sentirem desamparados e oprimidos quando tentam compreender sua própria relação com o problema.

O grande problema com as incessantes notícias desagradáveis sobre o meio ambiente e sobre o clima é que elas facilmente conduzem à resignação e depois à passividade.

Ao longo desse ensaio, percebe-se que imagens sensacionais, chocantes e indutoras de medo têm seu poder penetrante de prender o público e sua atenção. No entanto, a Ciência e o Jornalismo climático têm contribuído com o aumento de casos de efeitos psicológicos debilitantes nas pessoas. Logo, um caminho possível é que o alarmismo desligue o megafone, ou baixe o volume, usando recursos sensacionalistas de modo mais seletivo, com cautela e parcimônia, em combinação com outros tipos de representações, a fim de evitar causar negação, apatia, esquiva e associações negativas que podem suceder como resultado de lidar com quaisquer sentimentos desagradáveis evocados.

Se o papel do jornalista é buscar a verdade e relatá-la, para que os cidadãos sejam informados e eficazes, relatar apenas a desgraça e a tristeza sobre as mudanças climáticas é insuficiente. Chamar a atenção para os impactos das mudanças climáticas costuma ser algo que efetivamente desperta a atenção das pessoas. Nesse sentido, pode ser sopesado a adoção de um “jornalismo de soluções”, que frequentemente é rejeitado pelos jornalistas tradicionais como boas notícias. Segundo essa modalidade de divulgação de informações, não é suficiente saber o que está quebrado; é preciso que as pessoas saibam como os problemas podem ser consertados ou se estão sendo corrigidos. A atenção apropriada a histórias de solução construtiva de problemas também podem ser importantes e atraentes, mas muitas vezes negligenciadas. Quando muitas pessoas estão cientes de um problema, mas não têm noção do que pode ser feito, isso as leva a desistir, desligar-se, e isso é ruim para todos.

Atenuar a produção do pavor, diretamente nas fontes (meios científicos e midiáticos) é o caminho ideal para se combater a eco-ansiedade. Inclusive, conforme relata Shellenberger (2019), alguns cientistas do clima estão começando a resistir aos exageros de ativistas, jornalistas e outros cientistas: “Embora muitas espécies estejam ameaçadas de extinção”, disse Ken Caldeira, professor da Universidade de Stanford, “a mudança climática não ameaça a extinção humana. Não gostaria de nos ver

motivando as pessoas a fazerem a coisa certa, fazendo-as acreditar em algo que é falso”. Sobre a afirmação de que a mudança climática ameaça a civilização, o cientista climático australiano Tom Wigley afirma que (SHELLENBERGER, 2019):

Isso realmente me incomoda, porque é errado. Todos esses jovens foram mal informados. E em parte é culpa de Greta Thunberg. Não deliberadamente. Mas ela está errada.

Enquanto o caminho preferencial é “baixar o som do alarme”, ou seja, alterar a forma como a fonte emite esse alerta apavorante sobre as mudanças climáticas, outro opção é como o público pode adotar medidas de atenuação dos efeitos adversos gerados pelo ruído climático alarmista. Nesse sentido, se a preocupação com as mudanças climáticas chegou em níveis tais que estão causando o efeito colateral de distúrbios psicológicos como a eco-ansiedade, então dois caminhos são possíveis. O primeiro deles é tentar usar estratégias de “abafar o som” (medidas preventivas), ou seja, tentar escutar menos os alertas e atenuar os ruídos irritantes. Se não for possível silenciar a fonte barulhenta e importuna ou não conseguir “baixar o volume” para níveis aceitáveis/saudáveis, então o segundo método (medidas remediativas) pode ser imprescindível: caso o incômodo esteja repercutindo negativa e significativamente na saúde mental da pessoa, está afetando outros aspectos importantes da sua vida, ela está sofrendo e não está sabendo lidar sozinha com diferentes tipos de sensações angustiantes, então um possível “remédio” do problema é buscar ajuda psicológica profissional. A seguir,

detalhamos um pouco esses conceitos tratados de forma metafórica neste parágrafo:

- **Medidas preventivas** – resume-se basicamente na redução<sup>517</sup> à exposição do fator causador da doença mental, ou seja, tentar evitar e filtrar aquilo que você absorve passivamente pela mídia convencional (TV, cinema, jornais, revistas, rádio) e tentar redirecionar o interesse pelo o que você ativamente busca ler e assistir nas mídias virtuais e sociais da Internet (*Youtube, Instagram, Twitter, Facebook, Whatsapp* etc.). Existe uma relação direta que, quanto mais você entrar em contato com livros, artigos, notícias, vídeos e mídias diversas com viés ambientalista apocalíptico, mais triste e ansioso você se sentirá. É simples entender que uma enxurrada de notícias e fatos ruins afetam o humor humano. Grande parte da tristeza relacionada aos problemas ambientais é provocada por uma projeção mental distorcida, deturpada.
- **Medidas remediativas** – caso a medida preventiva não surta o devido efeito redutor da ansiedade, é o caso de buscar tratamento profissional psicológico, preferencialmente; ou, alternativamente, tentar buscar fontes confiáveis na Internet que indiquem caminhos nesse sentido. Por exemplo, a Sociedade de Psicologia na Austrália lançou um “*Guia de capacitação para mudanças climáticas*” (APS, 2018a) voltado a psicólogos que pretendem ajudar os pacientes a lidar com as profundas implicações das mudanças climáticas. Tal Sociedade também possui em seu site outros documento relacionados: “*Guia para pais sobre a crise climática*” (APS, 2018b); “*Mudanças climáticas e como lidar com o esgotamento (síndrome de burnout)*” (APS, 2015) e “*Lidando com o estresse da mudança climática*” (APS, 2017). Além desses, cita-se também uma página de um site<sup>518</sup> australiano: “*Como lidar com a ansiedade sobre as mudanças climáticas*” (REACHOUT, 2021). Enfim, todos essas referências apresentam, como uma pequena amostra de iniciativas, diversas indicações, recomendações de práticas e atividades que ajudam no tratamento dos distúrbios psicológicos relacionados às questões ambientais e climáticas. Para lidar com os sentimentos, as abordagens recomendadas nos documentos incluem a meditação, o enfrentamento expressivo (como deixar-se chorar), manter uma rotina saudável e buscar apoio social de outras pessoas (desabafar) e fazer pausas nas redes sociais. No caso de envolvimento de crianças ou

<sup>517</sup> O vício nas mídias é cada vez mais reconhecido por psicólogos e sociólogos como um problema sério que prejudica a saúde mental e a eficácia social de um número cada vez maior de pessoas. Pense em seu cérebro como muito semelhante ao navegador em seu computador – o *software* que você usa para navegar na Internet. A única diferença é que você está sempre conectado ao seu ambiente perceptivo; você não pode desligar o seu biocomputador, mas pode desligar o computador na sua mesa ou no seu colo. Seu “navegador mental” está recebendo informações do seu ambiente, mesmo – até certo ponto – enquanto você dorme. E cada coisa que entra tem um efeito. Você pode, no entanto, escolher em o que prestar atenção. Ao favorecer informações, imagens, sons, experiências e pessoas que apoiem o pensamento positivo, você pode aumentar suas chances de se sentir melhor, de ser mais saudável e de viver mais. Assim como você pode “apontar” o navegador do seu computador para qualquer conteúdo da Internet que escolher, você também pode direcionar o navegador mental para seu próprio bem. É necessário ter a prática de escolher de forma consciente e consistente o que você permitirá em sua mente. A maioria de nós é tão continuamente bombardeada pelas mensagens que influenciam nosso ambiente diário que é difícil parar e tomar consciência delas e considerar seus efeitos em nosso pensamento inconsciente. Entendemos que a “notícia” tende a retratar uma visão mórbida da vida, mas existem muitas outras mensagens, incluindo algumas que nem sequer pensamos como transmitindo influências positivas ou negativas. A seleção de conteúdo pode ser realizada mediante uma estratégia de “detecção de lixo”, cujo hábito consiste em considerar os motivos e propósitos potenciais por trás do que a mídia e as

pessoas nos contam. É possível reduzir o nível de ruído cultural que vem à sua mente em etapas, como redução do tempo na TV, rádio, no computador e no celular, jornais e revistas. Também é preciso um esforço consciente para escolher suas atividades para que raramente seja exposto à poluição da mídia de outras pessoas. Nas primeiras vezes que experimentar um “jejum de mídia” de um dia inteiro, você pode se sentir um tanto estranho, possivelmente um tanto desorientado, talvez até mesmo privado. Você começará a se conscientizar de quanto de seu tempo e atenção são involuntariamente confiscados pelo consumo passivo de conteúdo cultural sem qualidade. Você pode sentir que algo está faltando – um ritual familiar que foi levado embora. Eventualmente, você provavelmente experimentará uma sensação geral de maior calma, uma sensação menos frenética do que está acontecendo ao seu redor e alívio de uma sensação de urgência persistente e de baixo grau. No fim, é possível experimentar uma mudança perceptível no estado de espírito geral: emergirá uma sensação de ser mais plácido, mais otimista, mais aberto a novas experiências e mais caridoso com você mesmo e com os outros. Assim, pode ser esse um caminho viável para sentir a mente ser limpa, “desintoxicada” (ALBRECHT, 2007).

<sup>518</sup> <http://au.reachout.com> – autodenominado “o serviço de saúde mental *online* mais acessado por jovens e seus pais na Austrália”.



jovens com sintomas de eco-ansiedade, não há como proteger completamente os jovens da realidade da crise climática. Uma dos possíveis caminhos é os pais conversarem com os filhos sobre suas preocupações e ajudá-los a se sentirem capacitados para agir – por menores que sejam – e que podem fazer a diferença.

Uma parcela das pessoas preocupadas com as mudanças climáticas, apresentando sintomas de eco-ansiedade, pode voluntariamente perceber que está sofrendo, causando dor a si mesma. Sob a ótica do utilitarismo<sup>519</sup>, todas pessoas no mundo “buscam o prazer e evitam a dor”, exercendo o *princípio de utilidade das ações humanas*<sup>520</sup>, relacionada ao *princípio da maior felicidade*<sup>521</sup>. Logo, todas ações humanas visam maximizar o prazer e minimizar ou evitar a dor para que se alcance a felicidade. Nesse sentido, se uma pessoa conscientemente reconhece um sofrimento e também compreende a causa dele, então naturalmente ela poderá adotar uma conduta com orientação às ações que propiciem a maior felicidade possível, ou seja, através da quantificação dos prazeres e dores proporcionados por tais ações. Se ficar lendo notícias alarmistas sobre o clima é uma ação dolorosa, desesperadora, então a pessoa pode evitar esse tipo de leitura. Se a mobilização e o ativismo climático representa uma válvula de escape que dá vazão ao sofrimento decorrente da eco-ansiedade, então essa ação militante poderá trazer um prazer suficiente para suplantá-la dor, “anestesiando-a” (nesse caso, a dor ainda está presente, mas, no final das contas, subjetivamente ela não causa sofrimento).

Se o caminho para o tratamento da eco-ansiedade não for possível por iniciativa individual própria, então ajuda profissional pode ser requerida. Hoje, a mobilização da profissão da *Psicologia*<sup>522</sup> em torno da crise climática tem

levado especialistas de todo o mundo (especialmente em países desenvolvidos) a formarem grupos para pesquisar e tratar o crescente número de pessoas apanhadas no desdobramento da crise, tentando ajudá-los a sair do medo e da paralisia. Tal fenômeno tem, inclusive, proporcionado o surgimento de uma nova geração de *Psicólogos do Clima*.

Um primeiro exemplo é a *Aliança de Psicologia Climática*<sup>523</sup>, concebida no Reino Unido entre 2009 e 2012, cujo foco atual se concentra em atividades como: desenvolvimento e publicação de pesquisas; rede de apoio terapêutico (terapeutas que oferecem suporte a grupos e indivíduos em sofrimento); oficinas/workshops de treinamento (realização de cursos para psicoterapeutas e outros profissionais da psicologia que desejam oferecer suas habilidades com foco na ansiedade climática); e manutenção de um “*Manual de Psicologia Climática*”<sup>524</sup>.

Em outro exemplo<sup>525</sup>, profissionais se propõem a ajudar indivíduos, famílias e organizações a passarem da ansiedade à ação. Um psicólogo do clima apoia o bem-estar mental e auxilia o paciente na superação de traumas, ansiedade, luto, visando promover a resiliência na sustentabilidade. Segundo o citado *site*, eles fornecem suporte psicológico para quem está empenhados em “salvar o planeta”, movendo as pessoas de um lugar de inação, tristeza, raiva, trauma e dissonância para um lugar de motivação, poder e ação. A equipe preconiza que “quando parecer uma onda após onda de más notícias sobre o clima, lembre-se de que há boas notícias: a solução para a ansiedade climática é a ação climática e isso, por sua vez, nos ajudará a fazer as mudanças de que precisamos para apoiar o planeta”. Essa cura através da conversão da ansiedade climática para algum tipo de ação contra a mudança climática parece misturar a Psicologia com a tão difundida (e às vezes difamada) prática de *coaching*

<sup>519</sup> O utilitarismo, teoria ética normativa que tem seu foco principal voltado para a análise das ações humanas, sustenta que tais atitudes são guiadas pela dor ou pelo prazer. A filosofia utilitarista se fundamentava no hedonismo dos gregos antigos: os indivíduos agem de maneira a buscar o máximo possível de felicidade. Os principais representantes utilitaristas foram os filósofos ingleses Jeremy Bentham [1748-1832] e John Stuart Mill [1806-1873] (SPAGNOLO, 2019). Para Bentham: “a natureza colocou o gênero humano sob o domínio de dois senhores soberanos: a dor e o prazer. Somente a eles compete apontar o que devemos fazer, bem como determinar o que na realidade faremos” (GUEDES; MACIEL, 2018).

<sup>520</sup> Por *princípio de utilidade* entende-se aquele princípio que aprova ou desaprova qualquer ação, segundo a tendência que tem a aumentar ou diminuir a felicidade da pessoa cujo interesse está em jogo, ou, o que é a mesma coisa em outros termos, segundo a tendência a promover ou a compreender a referida felicidade. O termo *utilidade* designa aquela propriedade existente em qualquer coisa, propriedade em virtude da qual o objeto tende a produzir ou proporcionar benefício, vantagem, prazer, bem ou felicidade (tudo isso no caso presente, se reduz à mesma coisa), ou (o que novamente equivale à mesma coisa) a impedir que aconteça o dano, a dor, o mal, ou a infelicidade para a parte cujo interesse está em pauta; se esta parte for a comunidade em geral, tratar-se-á da felicidade da comunidade, ao passo que, em se tratando de um indivíduo particular, estará em jogo a felicidade do mencionado indivíduo (SPAGNOLO, 2019).

<sup>521</sup> A felicidade é construída através das ações que são úteis em prol do prazer, que por sua vez são norteadas pela razão e pela lei. A utilidade das ações visa o prazer e, por consequência, a felicidade das pessoas afetadas por tais ações que, por conseguinte, lhe são úteis. A felicidade do ponto de vista utilitarista implica a maximização do prazer e evitação/minimização da dor (SPAGNOLO, 2019).

<sup>522</sup> Como obra de referência inicial, Doherty e Clayton (2011) abordaram respostas que incluem: fornecer intervenções psicológicas na sequência de impactos agudos e reduzir as vulnerabilidades que contribuem para a sua gravidade; promover a resiliência emocional e o empoderamento no contexto de impactos indiretos. Segundo aos autores, o desafio do enfrentamento social e psicológico perante às mudanças climáticas exige maior alfabetização ecológica, uma responsabilidade ética ampliada, investigações sobre uma série de adaptações psicológicas e sociais e uma alocação de recursos e treinamento para melhorar a competência dos psicólogos em lidar com os impactos relacionados às mudanças climáticas.

<sup>523</sup> <https://www.climatepsychologyalliance.org/>

<sup>524</sup> <https://www.climatepsychologyalliance.org/handbook>

<sup>525</sup> <https://www.climatepsychologists.com/>

(treinamento motivacional). De fato, confirmando essa suspeita, um membro da equipe se intitula “Psicóloga e *Coaching* do Clima”. Quem diria que o medo exagerado sobre as mudanças climáticas abriria um novo campo de atuação profissional para os psicólogos de hoje.

Além dos princípios da *Psicologia Climática* e a da *Ecopsicologia*<sup>526</sup>, também destaca-se a prática da *Ecoterapia*, terapia que utiliza o contato e a conexão com natureza como cura. Baseada nas teorias da Ecopsicologia, a Ecoterapia pode envolver atividades pouco estruturadas, como caminhar na praia ou fazer uma caminhada em uma floresta. Mas também pode-se optar por participar de abordagens mais formais, geralmente com a orientação de um terapeuta. Algumas dessas abordagens da Ecoterapia incluem: jardinagem, agricultura comunitária, cuidar de animais; acampamentos; visitação regular de parques e prática de atividades ao ar livre; meditação ao ar livre e yoga; campanhas de plantio de árvores e coleta de lixo em áreas públicas. Da perspectiva da Ecoterapia, a saúde (física e mental) de um ser humano é vista no contexto da saúde da Terra e de seus ecossistemas naturais. Assim, a Ecoterapia pode ajudar as pessoas a se conectar com a natureza para ajudar a lidar com doenças físicas e mentais e, também, pode auxiliar nos problemas relacionados à eco-ansiedade e preocupações com danos e degradação ambiental, aquecimento global ou desastres naturais (SUMMERS; VIVIAN, 2018; RAYPOLE, 2020).

É tentador dizer como as coisas estão ruins, o quanto precisamos parar com isso. As pessoas muitas vezes podem acabar em um de dois polos: um focado na catástrofe, o outro essencialmente ignorando o problema. Podemos enfatizar demais o quão assustador é a ponto de as pessoas se sentirem desesperadas e em pânico. Trabalhar para possíveis soluções, como a queda no custo de energia renovável e melhorias na tecnologia de baterias, pode ser uma abordagem eficaz e viável para acalmar os temores dos jovens sobre o futuro. A chave para lidar com a ansiedade ecológica em qualquer idade é simples: é se desvencilhar do apego à ênfase na tragédia, perder aquela sensação de paralisia em face da magnitude do problema.

## **I.2.9. CAMINHOS PARA A SOLUÇÃO DOS PROBLEMAS CLIMÁTICOS**

### **I.2.9.1. Contexto histórico do problema climático**

A partir do final da década de 1980, a extensa cobertura sobre as questões relacionadas ao aquecimento

global criou um clima de sensibilização pública e um apelo coletivo de compromisso político para tentar resolver o problema. Assim, por um lado, parecia que os meios de comunicação haviam logrado um êxito louvável e exemplar ao advertir e comover as pessoas sobre um grave risco ambiental futuro. Entretanto, as insistentes pregações e tentativas de convencimento não foram proporcionalmente acompanhadas por atitudes concretas efetivas, que eram esperadas em níveis extraordinários.

É necessário aqui explicar melhor uma breve contextualização da origem do problema e as soluções que foram pensadas. Primeiro, os cientistas observaram um grande problema no clima mundial: as temperaturas médias globais estavam aumentando sob uma taxa que eles julgavam como preocupante. Depois, presumiram que a causa principal desse aquecimento da Terra seria o aumento exponencial de emissões de gases de efeito estufa (GEEs), oriundas de atividades humanas. Do lançamento desses gases na atmosfera, cerca de 80% é especialmente atribuído ao gás carbônico (CO<sub>2</sub>) proveniente da queima de combustíveis fósseis (petróleo, carvão e gás natural). Secundariamente, o metano (CH<sub>4</sub>), proveniente da pecuária, contribui com 10% das emissões de GEEs; os 10% restantes são devidos a outros gases, entre eles o óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) e gases halogenados.

Cientistas das diferentes áreas do conhecimento utilizam, todos os dias, de inúmeras ferramentas e análises estatísticas típicas para tentar prever o futuro e antecipar possíveis riscos e problemas maiores decorrentes. E isso não foi diferente para os pesquisadores do clima e de áreas correlatas: de um modo simples dizendo, eles observaram a tendência histórica e projetaram um aumento exponencial de emissões de GEEs para até o final do século. Com base na concepção assumida de relação diretamente proporcional entre a elevação da temperatura média global o rápido incremento das emissões antropogênicas de GEEs nos últimos 150 anos, então logo começou a surgir e se evidenciar o “super problema” do “aquecimento global”, com os infindáveis graves riscos associados ao aumento da temperatura terrestre até o ano 2100.

### **I.2.9.2. Possíveis soluções do problema climático**

Com base no artigo RIPPLE et al. (2020), assinado por mais de 11.000 cientistas de 153, foram criados “6 passos” para mitigação do problema climático, envolvendo energia, poluentes atmosféricos de curta

<sup>526</sup> Conforme já explicado na nota de rodapé nº 401.

duração, natureza, alimentos, economia e população. As principais ações para cada etapa incluem o seguinte:

- 1. Energia:** eliminar rapidamente os combustíveis fósseis é uma das principais prioridades. Isso pode ser alcançado por meio de uma estratégia multifacetada baseada na *rápida transição para energias renováveis de baixo carbono*, como energia solar e eólica, implementando práticas de conservação massivas e impondo taxas de carbono altas o suficiente para restringir o uso de combustíveis fósseis.
- 2. Poluentes de curta duração:** É vital cortar rapidamente as emissões de metano, carbono negro (fuligem), hidrofluorcarbonos e outros poluentes climáticos de curta duração. Pode reduzir drasticamente a taxa de aquecimento de curto prazo, que de outra forma pode ser difícil de afetar. Ações específicas para lidar com poluentes de curta duração incluem a redução das emissões de metano dos aterros e do setor de energia, promovendo fogões limpos e melhores (com menos fuligem) e desenvolvendo melhores opções e gerenciamento de gases refrigerantes (hidrofluorcarbonos).
- 3. Natureza:** Devemos restaurar e proteger os ecossistemas naturais, como florestas, manguezais, pântanos e pastagens, permitindo que esses ecossistemas alcancem seu potencial ecológico para sequestrar dióxido de carbono. A extração madeireira da Amazônia, florestas tropicais no sudeste da Ásia e outras florestas tropicais, incluindo intenções de cortes na Floresta Nacional de Tongass do Alasca, é especialmente devastadora para o clima. A criação de novas áreas protegidas, incluindo reservas florestais estratégicas de carbono, deve ser uma prioridade. Os programas de *pagamento por serviços ecossistêmicos* oferecem uma maneira justa para as nações mais ricas ajudarem a proteger os ecossistemas naturais.
- 4. Comida:** uma mudança na dieta para comer mais alimentos vegetais e consumir menos produtos de origem animal, especialmente carne bovina, reduziria significativamente as emissões de metano e outros gases de efeito estufa. Também liberaria terras agrícolas para o cultivo de alimentos humanos e, potencialmente, reforestamento (etapa "Natureza"). As ações políticas relevantes incluem a minimização do cultivo para maximizar o carbono do solo, cortando os subsídios ao gado e apoiando a pesquisa e o desenvolvimento de substitutos de carne ecologicamente corretos. A redução do desperdício de alimentos também é crítica, visto que pelo menos um terço de todos os alimentos produzidos é desperdiçado.
- 5. Economia:** devemos fazer a transição para uma economia livre de carbono que reflita nossa dependência da biosfera. A exploração dos ecossistemas com fins lucrativos deve ser absolutamente interrompida

para a sustentabilidade de longo prazo. Embora esta seja uma etapa ampla e holística que envolve a *economia ecológica*, existem ações específicas que apoiam essa transição. Os exemplos incluem o corte de subsídios e o desinvestimento da indústria de combustíveis fósseis.

- 6. População:** a população humana global, crescendo em mais de 200.000 pessoas por dia, deve ser estabilizada e gradualmente reduzida usando abordagens que garantam a justiça social e econômica, como o apoio à educação para todas as meninas e mulheres e o aumento da disponibilidade de serviços voluntários de planejamento familiar.

Essas etapas, por possuírem efeitos sinérgicos entre si e, juntas, podem garantir um futuro sustentável. Elas também têm muitos cobenefícios além da mitigação do clima. Por exemplo, estabilizar o tamanho da população humana pode melhorar a capacidade de adaptação ao clima no caso de declínio no rendimento das colheitas. Da mesma forma, as dietas ricas em vegetais oferecem benefícios significativos para a saúde humana.

### I.2.9.3. Impasses e fracassos nas soluções do problema climático

Se o aumento da temperatura representa enormes riscos e impactos futuros, então a solução óbvia parecia ser relativamente fácil: “precisamos reduzir as emissões de GEEs!”. Ou seja, apesar do concebido “super problema” do aquecimento da Terra, as esperadas soluções pareciam ser relativamente simples<sup>527</sup>. Mas o que temos observado nesses quase 50 anos de intenso debate e controvérsias, é que as soluções demandadas não têm sido colocadas efetivamente em prática nos níveis almejados. Em outras palavras: “não estamos conseguindo reduzir as emissões de GEEs!”. Ao longo do quase último meio século, dentro do conjunto de ações que deveriam ser orquestradas entre todas as nações do mundo, diversas iniciativas foram propostas<sup>528</sup>, votadas e até se chegou a tentar, de diferentes formas, resolver uma questão climática que estaria associada, basicamente, ao aumento das emissões de GEEs. Contudo, ainda hoje, parece que a sociedade global está longe dessa solução,

<sup>527</sup> Um paralelo com a mitologia grega: as mudanças climáticas hoje podem ser metaforicamente comparadas com a lenda da terrível criatura *Hidra de Lerna* (dragão com várias cabeças de serpente). Esperava-se que ela poderia ser aniquilada com algumas espadadas; mas, a cada cabeça cortada, surgiam mais duas no lugar. Assim, tecnicamente imortal, Hidra foi derrotada por Hércules, filho de Zeus, jovem herói que, buscando obter imortalidade ao completar doze tarefas impossíveis, enfrentou e abateu a temida Hidra. Hoje, para combater as mudanças climáticas, cortar as emissões de GEEs parece ser um desafio tão grande quanto a saga mitológica de Hidra de Lerna, mas, hoje, todos ainda aguardam o surgimento de um Hércules moderno, ou uma solução definitiva para o problema climático.

<sup>528</sup> A exemplo, pode-se citar os principais acordos internacionais e mecanismos associados, em ordem cronológica:

- **Protocolo de Quioto (1997):** ratificado por 182 países, foi a primeira iniciativa global com metas quantitativas de redução de emissões, com a primeira fase

iniciada em 2008 e terminada em 2012. Por meio desse Protocolo que foi concebido o *Comércio Internacional de Emissões (CIE)*, relacionado aos populares “*Créditos de Carbono*”. Em virtude da ocorrência de fraudes nesse sistema, muitos Mercados de Carbono perderam a participação em virtude da redução da confiança e credibilidade no sistema;

- **Emenda de Doha (2012):** prorrogou o Protocolo de Quioto, definindo o segundo período de compromissos com início em 2013, com término em 2020. Somente 66 países ratificaram a referida Emenda; e
- **Acordo de Paris (2015):** ratificado por 175 países, estabeleceu mecanismos de financiamento para medidas de mitigação e adaptação a partir de 2020. Nesse Acordo, cada país determina, planeja e reporta periodicamente sua própria contribuição que deve fazer para mitigar o aquecimento global, não havendo um mecanismo específico e obrigatório para compelir o país a definir metas ou prazos específicos.

demonstrando que as medidas adotadas até então não têm sido suficientes. As emissões e os correspondentes níveis dos principais GEEs antropogênicos continuam crescendo, ainda em ritmo exponencial.

Admite-se, sobretudo, que houve um despertar para o alegado problema, houve um exímio esforço da ciência e, em consonância, a mídia desempenhou sim um papel contundente na propagação da problemática. Cientistas realmente se empenharam nas pesquisas e na criação de modelos, mas abusaram nos cenários e previsões cada vez mais extremos e dramáticos; na mesma linha, as notícias recorreram ao apelo alarmista, altamente eficiente em provocar uma motivação fundamentada no medo. Enfim, houve um convencimento público para se fazer algo para combater o aquecimento global. Mas, ainda hoje, parece que estamos em busca de uma solução que nunca chega em definitivo. Onde que pode estar o erro nisso tudo? A questão é que, o caminho entre a motivação e intenção foi facilmente transposto, mas o caminho entre a intenção e a execução das possíveis e variadas soluções tem sido um labirinto sem fim.

Então, alegar que a imprensa não transmite a devida urgência do problema, isso não é verossímil. Ela conseguiu, e com muita eficiência, convencer as pessoas e, os políticos, como tomadores de decisão, chegaram a pensar e votar por políticas nacionais e internacionais sobre medidas mitigadoras das mudanças climáticas. E esse notável fenômeno midiático foi um tremendo sucesso porque houve uma tempestade de informações sendo bombardeada pelos veículos de comunicação. Estudos (CARNEIRO; TONIOLO, 2012a, 2012b; OLIVEIRA; CARNEIRO; VECCHIA, 2017) indicam que de 98 a 99% da mídia tem advogado pelo viés da divulgação de situações preocupantes sobre o aquecimento global. E, inversamente, uma parcela ínfima, de 1% a 2% das notícias, tenta apresentar visões alternativas sobre outras possíveis causas<sup>529</sup> do aquecimento global além das emissões antropogênicas de GEEs. Ou seja, nos meios de comunicação de massa, são poucas as fontes e notícias que tentam promover uma noção com menor acentuação da magnitude dos atuais e futuros impactos das mudanças climáticas.

Portanto, houve um desmoronamento na implementação dos mecanismos que foram pensados como possíveis soluções ao problema das mudanças climáticas. Se as medidas não surtiram os efeitos a contento, não se pode atribuir as causas dos insucessos à etapa anterior, do convencimento, visto a motivação da

ação promovida pela ciência e pela mídia foram bastante efetivos: políticos foram mobilizados, que aglutinaram e consolidaram as intenções em acordos, planos e programas, porém, seus efeitos práticos se demonstraram ineptos.

No final das contas, qual o grande problema da falta de resolutividade definitiva do “super problema” do aquecimento global? A explicação é esta: o que parecia ser uma simples solução, reduzir as emissões de GEEs, exigiria uma revolução extraordinária em toda matriz energética mundial. Atualmente, os combustíveis fósseis são responsáveis por cerca de 80% da energia primária do mundo. E mudar isso, do “dia para noite” (interprete isso como em termos de algumas décadas), não é algo trivial de se realizar. Por mais que, gradualmente, novas promissoras tecnologias alternativas e fontes renováveis de energia, “livres de carbono”, estejam surgindo e se tornando viáveis e atrativas, elas ainda são, comparativamente, bastante caras e/ou ineficientes. Portanto, como principais fontes de energia, as soluções hoje disponíveis são substitutas inaptas e insuficientes para suprir as demandas energéticas mundiais hoje abastecidas pela difundida queima de petróleo, carvão e gás natural. Enfim, para se evitar as emissões de GEEs, supostas como exclusivamente causadoras do problema climático, não é nada rapidamente factível mudar todos os veículos de transporte, maquinários industriais e as estruturas físicas movidas direta ou indiretamente pela energia fornecida pelos combustíveis fósseis. A essência do fracasso no combate ao aquecimento global está cristalizada em uma questão puramente econômica: as pessoas, as indústrias, os governos preferem utilizar uma fonte de energia mais barata, mesmo que isso possa representar alguma repercussão ou risco climático.

Por um lado, existe um forte apelo e intenção na tentativa de “descarbonização” da economia mundial, mas um esforço coletivo e efetivo de implementar de verdade esse processo está em passos de tartaruga. A culpa disso seria de quem? Seria dos cientistas? Eles conseguiram pesquisar e publicar farto material de fundamentação científica sobre o tema. Seria culpa então dos jornalistas? Eles também conseguiram traduzir o denso e intrincado conhecimento técnico, antes inacessível e restrito comunidade acadêmica, em uma linguagem mais popular, ainda que tivessem abusado do apelo emocional como linha editorial. Seria então culpa

<sup>529</sup> Indica-se, a propósito, outro artigo nosso (OLIVEIRA et al., 2018), no qual apresenta-se uma abordagem ampla sobre diversos ciclos climáticos e respectivas causas naturais das mudanças do clima.

dos professores, nos diferentes níveis de ensino? Muitos ajudaram a difundir a cartilha dos impactos do aquecimento global, como um grave, senão o maior problema ambiental de todos os tempos da humanidade. Seria culpa das pessoas? Elas foram sensibilizadas e demonstraram preocupação com o problema, de certo modo demandaram e deram aval para as autoridades e representantes políticos. Por fim, foi culpa dos tomadores de decisão, ou seja, os políticos? Ao longo de décadas de complicadas discussões e negociações em todo o mundo, eles conseguiram consolidar acordos internacionais e políticas intranacionais (leis federais, estaduais e municipais).

Para se evitar um apavorante desequilíbrio climático irreversível e de magnitudes catastróficas, então, aparentemente tudo estava direcionado a soluções consensuadas, em princípio, bem pensadas e bastante discutidas. Inicialmente, a abordagem do enfrentamento ao problema era quase exclusivamente uma questão de reduzir as emissões de GEEs, e o modo predominante de política climática em todo o mundo tem sido o sistema de comércio de carbono. Os princípios dos mercados de carbono foram estabelecidos no Protocolo de Quioto de 1997, mas até agora, se houve, foram poucas as reduções mensuráveis nas emissões de GEE que podem ser atribuídas a essas medidas. Assim, os mercados de carbono têm falhado dada a sua natureza ineficiente e até corrupta nas transações dos créditos de carbono. As emissões não diminuíram e, ainda, pessoas gananciosas tentaram ganhar fraudulentamente vultosas cifras nesse tipo de negócio ambiental promissor, de “causa nobre”, mas potencialmente rentável.

Tomando como exemplo o Sistema Europeu de Comércio de Licenças de Emissão (*EU Emissions Trading System – EU ETS*<sup>530</sup>), a primeira grande iniciativa de mercado de carbono do mundo. Quando foi estabelecido em 2005, o sistema teve o crédito de carbono precificado em US\$ 45 a tonelada de CO<sub>2</sub> (tCO<sub>2</sub>). Com a crise financeira global de 2008, a atividade econômica europeia diminuiu, assim como as emissões. Com a abundância de créditos de carbono, os preços do carbono na Europa despencaram para valores quase 10 vezes menores, permanecendo na faixa de US\$ 5/tCO<sub>2</sub> até 2017. Com um revigorante Acordo de Paris em 2015, e após a publicação do Relatório SR15 do IPCC, em 2018 houve o anúncio de ajustes para a quarta fase do sistema europeu, iniciada em 2020. Assim, os créditos de carbono do sistema europeu voltaram a subir consideravelmente, atingindo cifras em torno de US\$ 25/tCO<sub>2</sub> até antes da pandemia da COVID-19. Após tal episódio, com a

tendência geral de um ciclo de valorização das *commodities* (incluindo o petróleo), houve uma subida para US\$ 40/tCO<sub>2</sub> (abr/2021) dos créditos de carbono da EU ETS. No entanto, para atingir os cortes de emissões exigidos no acordo climático de Paris, estima-se que os preços do carbono teriam que estar, hoje, entre US\$ 40 e \$ 80 por tCO<sub>2</sub>, e entre \$50 e \$100 até 2030. Resultado: apenas 0,15% das emissões globais de GEEs estão sujeitas a uma cotação de carbono que os economistas consideram alto o suficiente para fazer muita diferença ambiental (BALL, 2018).

Agora em 2021, cinco anos após o Acordo de Paris, governos reconhecem que corre-se o risco de a meta climática de Paris não ser atingida. Inclusive, começam a admitir que os compromissos para reduzir as emissões que os países assumiram em Paris são insuficientes, o que pode “resultar em um aquecimento catastrófico de mais de 3 °C” (HARVEY, 2020). A realidade, como um todo, é desanimadora: para descarbonizar a matriz energética mundial o suficiente para cumprir até mesmo as metas limitadas estabelecidas em Paris, o investimento global anual em tecnologias de baixo carbono teria que aumentar em cerca de US\$ 700 bilhões até 2030, de acordo com o Banco Mundial. O banco também estima que um mercado internacional de carbono poderia incentivar cerca de um terço disso (US \$ 220 bilhões por ano). Esse número em si é revelador: mesmo nas circunstâncias mais otimistas, a precificação do carbono produzirá apenas uma fração dos cortes de emissões necessários para colocar o mundo em um caminho suficientemente baixo de carbono (BALL, 2018).

Na prática, há um problema com a ideia de reduzir as emissões de carbono colocando um preço sobre elas: o mercado dos créditos de carbono está contribuindo pouco no combate ao aquecimento global. A Agência Internacional de Energia projetou que as emissões de GEEs do setor de energia continuarão aumentando até pelo menos 2040. O resultado é que o mercado de carbono, prescrição política amplamente considerada uma panaceia, está agindo na verdade como um narcótico, já que passa ao público uma sensação calorosa de que estão lutando contra as mudanças climáticas, mesmo que o problema das emissões de GEEs continue crescendo. (BALL, 2018).

#### **I.2.9.4. Combate às mudanças climáticas: custos e investimentos financeiros**

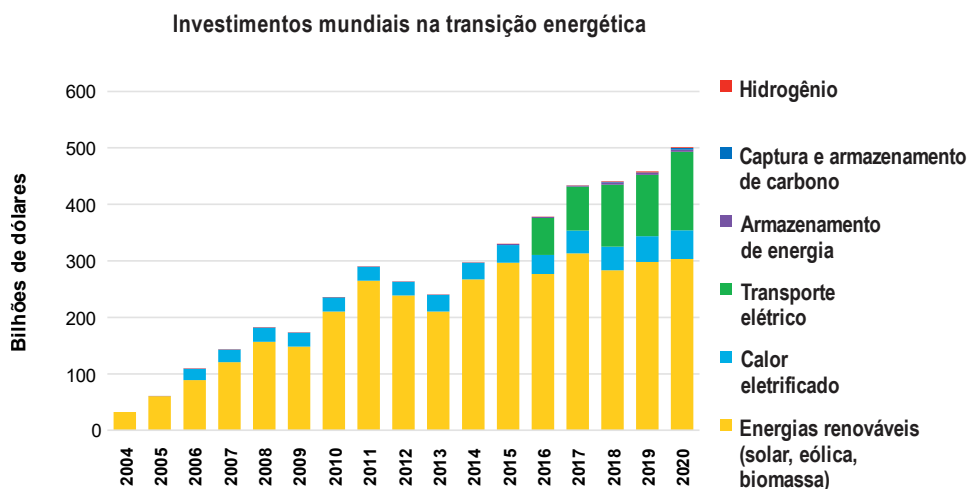
Para Incropera (2015), múltiplas opções devem ser buscadas para reduzir o uso de combustíveis fósseis, mas

<sup>530</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/European\\_Union\\_Emission\\_Trading\\_Scheme](https://en.wikipedia.org/wiki/European_Union_Emission_Trading_Scheme)

as realidades econômicas impedem uma retirada abrupta. Gostando ou não, o mundo está inundado de combustíveis fósseis, e eles continuarão a ser usados, possivelmente ao longo do século. O desafio é reduzir o consumo de forma que não prejudique a economia global, ao mesmo tempo que reduz significativamente a ameaça das mudanças climáticas.

Segundo o IPCC (conforme apontado em YEO, 2019), um investimento anual de US\$ 2,4 trilhões – montante correspondente a de 2,5% da economia mundial – seria necessário apenas no sistema de energia até 2035 para limitar o aumento da temperatura abaixo de

1,5 °C em relação aos níveis pré-industriais. Estima-se (OECD, 2018) que, para atender as metas climáticas até 2030, são necessários anualmente US\$ 6,9 trilhões em todo mundo, ou cerca de 7% do PIB mundial para serem investidos em novas tecnologias limpas e fontes renováveis de energia. Enquanto isso, em 2020, o financiamento global total relacionado ao clima foi algo em torno de US\$ 500 bilhões, valor que é 14 vezes menor que o esperado. Conforme ilustrado na **Figura 241**, apesar de os investimentos na transição energética estarem aumentando desde 2004, o ritmo está aquém do desejado.



**Figura 241** – Transição energética: investimento global em tecnologias “zero carbono”, por setor. Fonte: adaptado de BNEF (2021).

Ao mesmo tempo em que investimentos globais em tecnologias “zero carbono” estão em ritmo lento, os projetos de combustíveis fósseis ainda estão sendo fortemente subsidiados pelos governos. De acordo com a Agência Internacional de Energia, os subsídios totalizaram mais de US\$ 400 bilhões em 2018, mais do que o dobro daqueles recebidos pelas energias renováveis. O Fundo Monetário Internacional estimou os custos ocultos associados à continuação da queima de petróleo, carvão e gás – como poluição do ar e aquecimento global – e estimou que os danos não pagos causados por combustíveis fósseis poderiam chegar a US\$ 5,2 trilhões somente em 2017. Logo, com muito dinheiro ainda sustentando os combustíveis fósseis e outras fontes de emissões de GEEs, o cenário realista atual aponta para

uma tendência de grandes dificuldades em redirecionar o sistema financeiro para um mundo de “carbono zero”. O motivo essencial dessa discrepância na alocação de recursos financeiros? É simples: os investidores geralmente calculam suas aplicações em termos de retornos lucrativos e, hoje, investir nos setores baseados em combustíveis fósseis – notadamente o petróleo<sup>531</sup> – dá mais dinheiro do que investir em novas tecnologias e energias renováveis (YEO, 2019).

#### 1.2.9.5. Transição energética: o fim da “era do petróleo”?

No combate às mudanças climáticas, a formulação de políticas internacionais giram em torno de um único

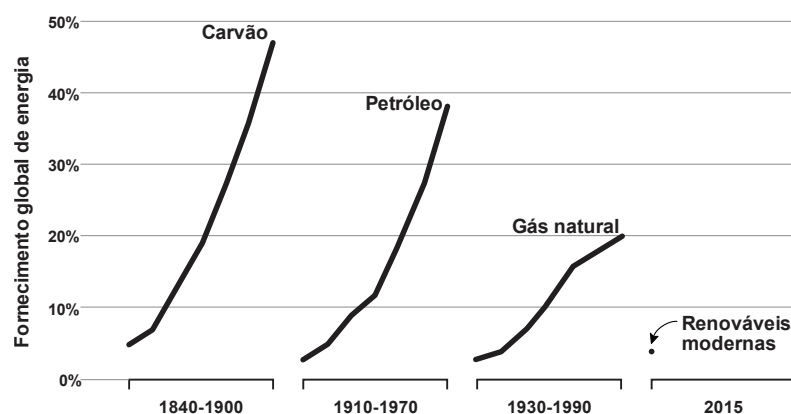
<sup>531</sup> Como um recurso valioso e escasso de enorme interesse internacional, o petróleo possui grandes reservas concentradas em poucas regiões do planeta. Assim, a produção, distribuição, refino e comércio do petróleo e seus derivados representam a maior indústria do mundo em termos de valor monetário. Sendo escasso e concentrado, o petróleo é um ativo cobiçado por muitas nações. Não é à toa que o petróleo está vinculado a diversas disputas geopolíticas e, inclusive, figura como um protagonista de muitos conflitos regionais e até guerras mundiais. A disputa pelos recursos energéticos tem sido um fator conspicuo em muitos conflitos recentes, incluindo a Guerra Irã-Iraque (1980-1988), a

Guerra do Golfo (1990-1991), a Guerra Civil Sudanesa (1983-2005) e a Guerra do Iraque (2003-2011). Embora a ameaça de “guerras por recursos” pela posse de reservas de petróleo seja frequentemente exagerada, a soma total dos efeitos políticos gerados pela indústria do petróleo torna o petróleo uma das principais causas de guerra. Entre 25% a 50% das guerras entre nações desde 1973 foram conectadas a um ou mais mecanismos causais relacionados ao petróleo. Nenhuma outra mercadoria teve tal impacto na segurança internacional (COLGAN, 2013).

desafio: zerar as emissões de GEEs. Para tal, os líderes em todo o mundo até hoje debatem como articular e viabilizar na prática a transição da economia global para a sua “descarbonização”, “neutralização de carbono”, ou “carbono zero”. Então, quando se discute o problema das mudanças climáticas, estamos lidando diretamente com algo muito grande: uma *transição energética* de fontes fósseis (petróleo, carvão e gás natural) para fontes renováveis (energia solar, eólica, hidrogênio, biomassa, entre outras). Essa atualmente falada e tão sonhada transição energética não seria a primeira a ser enfrentada pela humanidade.

Durante a maior parte da história humana, nossas principais fontes de energia foram nossos próprios músculos, animais que puxavam arados, e plantas que queimávamos. Os combustíveis fósseis não representavam nem a metade do consumo mundial de energia até o final da década de 1890. Na China, eles não assumiram até a década de 1960. Ainda hoje, existem

partes da Ásia e da África Subsaariana onde essa transição ainda não aconteceu. Dentro de uma história de milênios, é relativamente recente o tempo que levou para o petróleo se tornar uma grande parte de suprimento mundial de energia. Começamos a produzi-lo comercialmente na década de 1860. Meio século depois, representava apenas 10% do suprimento mundial de energia, e demorou-se mais 30 anos para chegar a 25%. O gás natural seguiu uma trajetória semelhante do petróleo. Em 1900, era responsável por 1% da energia mundial. Demorou 70 anos para chegar a 20%. A fissão nuclear foi mais rápida, indo de 0 a 10% em 27 anos. O gráfico da **Figura 242** mostra o quanto as diversas fontes de energia cresceram ao longo de 60 anos, a partir do momento em que foram introduzidas. Entre 1840 e 1900, o carvão passou de 5% do suprimento mundial de energia para quase 50%. Mas nos 60 anos de 1930 a 1990, o gás natural atingiu apenas 20%. Resumindo: as transições de energia demoram muito tempo (GATES, 2021).



**Figura 242** – Transição energética. Demora-se muito tempo para adotar novas fontes de energia: em 60 anos, o carvão passou de 5% do suprimento mundial de energia para quase 50%; mas o gás natural atingiu apenas 20% no mesmo período. Adaptado de Gates (2021).

A transição energética atual teria que ser impulsionada por algo que nunca importou antes. No passado, mudava-se de uma fonte para outra porque a nova era mais barata e mais poderosa. Quando parou-se de queimar tanta madeira e começou-se a usar mais carvão, por exemplo, foi porque podia-se obter muito mais calor e luz com um quilo de carvão do que com um quilo de madeira. Um exemplo mais recente nos Estados Unidos: eles estão usando mais gás natural e menos carvão para gerar eletricidade. Por que? Porque novas técnicas de perfuração têm tornado muito mais barato a extração do gás. É uma questão de economia, não de meio ambiente.

Com o tempo, naturalmente já estamos começando a usar mais energias renováveis, mas, por conta própria, no ritmo atual, esse crescimento não acontecerá tão

rápido o suficiente para se atingir o “carbono zero”. Para tal, seria preciso realizar algo gigantesco que nunca foi feito antes, muito mais rápido do que jamais se fez algo semelhante. Para forçar uma transição rápida e não natural, além do respaldo legal e incentivos econômicos e fiscais, é crucial obter enormes avanços na ciência e na engenharia. Isso tudo introduz um nível de complexidade – em políticas públicas e tecnologia – com o qual nunca tivemos que lidar antes.

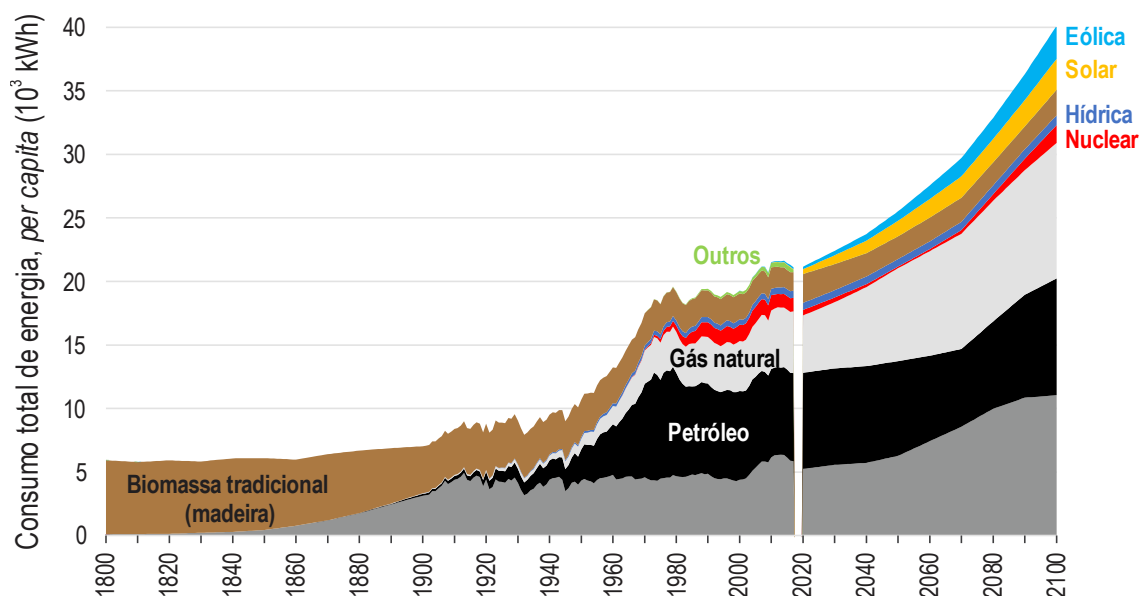
Hoje, a transição para a energia limpa parece estar em andamento, mas como qualquer empreendimento que valha a pena, não vai ser simples. A União Europeia sozinha planeja gastar US\$ 1,1 trilhão na próxima década para fazer a transição para uma economia de energia limpa. A China planeja gastar mais alguns trilhões para se tornar neutra em carbono até 2060 (KOSTIGEN, 2021).

No centro da política de energia dos EUA, está a promessa de investir US\$ 2 trilhões para criar um sistema de eletricidade com emissão zero até 2035. Mas alguns receiam que a transição energética não será possível dentro desse orçamento ou escala de tempo, estimando que o custo total de obtenção de um sistema de energia descarbonizada em 90% atingiria US \$ 7 trilhões (PUROHIT, 2021). De acordo com Agência Internacional de Energia, investimentos em energia alternativa e cenários de políticas governamentais podem levar as vendas mundiais de veículos elétricos<sup>532</sup> a 245 milhões até 2030.

Enfim, existem hoje muitos planos internacionais de investimento nas tecnologias renováveis para se obter uma transição energética. Contudo, analisando a tendência realista (e não a tendência “idealista”, aquela almejada pelos sonhadores do “carbono zero”), é bastante plausível e afirmar que, pelo menos pelos próximos 30 anos (e talvez até o final do séc. 21), os combustíveis fósseis (petróleo, carvão e gás natural) continuarão sendo

as fontes dominantes na matriz energética mundial. Vamos aos dados que comprovam essa conjectura.

Desde 1800, a energia média disponível para um ser humano médio aumentou 3,5 vezes e provavelmente quase dobrará até o final deste século, conforme mostrado na **Figura 243**. Globalmente em 1800, a biomassa tradicional (principalmente madeira) era quase a única energia fonte para cozinhar e aquecer. O carvão substituiu lentamente parte da madeira ao longo de 1800, em parte porque a madeira se tornou escassa e cara, mas a energia por pessoa só aumentou 18% de 1800 a 1900. Mesmo após a Segunda Guerra Mundial em 1945, a energia média por pessoa só aumentou 50% em 1950. Nas três décadas e meia seguintes, a disponibilidade de energia dobrou (aumento de 200%) em 1980, desacelerou pela primeira e segunda crises do petróleo, e só aumentou ligeiramente desde então. Cenários intermediários preveem um aumento do consumo de energia por pessoa para quase o dobro até 2100 (LOMBORG, 2020).



**Figura 243** – Evolução (1800-2100) do consumo de toda energia (não apenas eletricidade) por pessoa no mundo. “Outros” inclui: biocombustíveis líquidos, energia geotérmica, energia solar térmica, biocombustíveis modernos e resíduos. Adaptado de Lomborg (2020).

A **Figura 243** também mostra como o sistema de energia passou por algumas transições, começando

dominado pela madeira, para uma maior dependência do carvão, depois para o petróleo e depois para o gás. A

<sup>532</sup> A transição energética de fontes de energias fósseis “suja” para novas fontes “limpas” não quer dizer que outras tecnologias não causem outros tipos de impactos ambientais. A produção de minerais necessários para a transição pode aumentar em até 500% até 2050, visto que veículos elétricos e fontes de energia “limpa”, como solar, eólica e geotérmica, requerem grandes quantidades de metais. As baterias, em especial, usam minerais especiais para armazenar energia. A mineração terrestre não é um negócio particularmente limpo: para obter os minerais necessários para fabricar apenas uma bateria de carro elétrico, por exemplo, cerca

de 200 toneladas de material (rochas e solos) devem ser extraídos e processados – tratados com produtos químicos prejudiciais que podem resultar em rios de rejeitos, incluindo mercúrio e resíduos de arsênio. Além disso, quando o solo é desenterrado, o carbono armazenado é liberado na atmosfera. E o potencial desse solo armazenar mais carbono também é perdido. O resultado é mais dióxido de carbono na atmosfera, o que obviamente contribuiria com aquilo que se pretende evitar: o aumento da temperatura global (KOSTIGEN, 2021).



transição de energia é frequentemente retratada como uma mudança de uma fonte para a próxima fonte, mas como mostra a referida figura, isso está bem errado. Na verdade, quando o petróleo foi adicionado ao carvão, o carvão não diminuiu, e quando o gás natural aumentou, nem o petróleo nem o carvão diminuíram. A humanidade parece simplesmente adicionar mais e mais energia de todas as fontes disponíveis. A madeira é talvez a única exceção, pois tem diminuído por pessoa, principalmente porque é menos flexível de usar, leva à poluição do ar interior e, portanto, está principalmente associada à pobreza. A maioria das pessoas pensam que o séc. 19 foi dominado pelo carvão, o séc. 20 pelo petróleo e o séc. 21 pertencerá às energias renováveis. Na verdade, o séc. 19 obteve 85% de sua energia da madeira, enquanto que o carvão, com 34%, forneceu a maior parte da energia no séc. 20 (com petróleo e madeira quase iguais a 28% e 23%, respectivamente). Além disso, parece duvidoso que as energias renováveis dominem o séc. 21. Para olhar para o futuro da participação das energias renováveis, considera-se a hipótese em que todos os países

implementarão todos os seus planos e ambições declarados, incluindo o que prometeram no Acordo de Paris. Mesmo com essa suposição otimista, o cenário considera que as energias renováveis chegarão a 20% em 2040. O cenário mais realista das políticas atuais considera que as energias renováveis chegarão a 17%. Já para o ano de 2100, entre outros cinco cenários possíveis, apenas o cenário “sustentável” termina com 45% de energias renováveis, enquanto que os outros quatro cenários alcançam entre 14 a 23% (LOMBORG, 2020).

### I.2.9.6. Mudanças climáticas: um “super problema perverso”

Para entender melhor as causas dos atuais fracassos e soluções colocadas em prática, é preciso reconhecer que as mudanças climáticas são consideradas como um “problema perverso”<sup>533</sup> e até mesmo um “problema super perverso”<sup>534</sup>, ou seja, aquele em que toda suposta solução cria outras possíveis complicações.

<sup>533</sup> Traduzido livremente como “problemas perversos” (a partir de *wicked problem*, em Inglês), o termo foi criado pela necessidade de entender a natureza dos problemas que levam ao fracasso de iniciativas importantes para a sociedade, em contraponto aos “problemas domados” (*tamed problem*, do Inglês), ou problemas bem definidos até então tratados pelas ciências.

O termo “perverso” não deve ser entendido sentido puramente malévolu ou de tendência maligna, mas sim como um problema altamente resistente à resolução. “Problemas perversos” foi um termo introduzido por Rittel e Webber (1973), em um artigo em Ciências Políticas, para descrever problemas sociais que carecem de respostas diretas e de planejamento simplistas. Eles argumentaram que a ciência poderia resolver apenas problemas bem definidos com soluções claras. De acordo com os autores, utilizou-se do termo “perverso” com um significado semelhante ao de “maligno” (em contraste com “benigno”) ou “vicioso” (como um círculo) ou “enganador” (como um duende) ou “agressivo” (como um leão, em contraste com a docilidade de um cordeiro). Além das mudanças climáticas, são exemplos clássicos de problemas perversos: degradação ambiental, terrorismo, pobreza e questões políticas como criminalidade, saúde e educação.

Pela conceituação geral, um problema perverso é um problema social ou cultural difícil ou impossível de resolver por conta de até quatro razões:

1. Conhecimento incompleto ou contraditório;
2. Elevado número de pessoas e/ou opiniões envolvidas;
3. Elevado custo econômico; e
4. A natureza interconectada desses problemas com outros problemas.

A pobreza está ligada à educação, a nutrição com pobreza, a economia com nutrição e assim por diante. Esses problemas são normalmente transferidos para os formuladores de políticas ou são considerados muito complicados para serem tratados em massa. Como característica comum, os problemas graves precisam ser resolvidos não uma, mas muitas vezes, e eles nunca irão embora totalmente. Com base nos supracitados autores, a Comissão Australiana de Serviço Público (APSC, 2018) identificou e detalhou os principais aspectos dos problemas perversos:

1. Problemas perversos são difíceis de definir claramente: diferentes partes interessadas têm diferentes visões de qual é o problema e respostas adequadas;
2. Problemas perversos não têm regra de parada: não há como saber se sua solução é a final.
3. Problemas perversos têm muitas interdependências e, muitas vezes, são multicausais: pode haver objetivos conflitantes para os envolvidos;

4. Problemas perversos são difíceis de medir: não há teste imediato para verificar se uma solução específica está tendo algum impacto. Há um intervalo de tempo entre as ações e as consequências, e a atribuição de causas e efeitos é quase impossível;
5. As tentativas de resolver problemas perversos muitas vezes levam a consequências imprevistas: existem problemas perversos em sistemas complexos que exibem comportamento emergente imprevisível;
6. Problemas perversos muitas vezes não são estáveis: a compreensão do problema está em constante evolução;
7. Problemas perversos geralmente não têm solução clara: não há resposta certa ou errada, verdadeira ou falsa, embora possa haver respostas piores ou melhores;
8. Problemas perversos são socialmente complexos: é a complexidade social, ao invés da complexidade técnica, que é esmagadora;
9. Problemas perversos dificilmente ficam convenientemente dentro da responsabilidade de qualquer organização: esses problemas ultrapassam as fronteiras da governança;
10. Problemas perversos envolvem mudança de comportamento: com todas as dificuldades que isso representa;
11. Alguns problemas perversos são caracterizados por falhas crônicas de política: eles se tornaram intratáveis, apesar das inúmeras tentativas de soluções.

Uma lista adaptada contendo 10 razões detalhadas pelas quais a mudança climática é um problema perverso pode ser consultada em Murtugudde (2019).

<sup>534</sup> O termo “problemas super perversos” foi introduzido por Levin et al. (2007), que teve o conceito e suas implicações explorados com mais detalhes em Levin et al. (2012). Nesses artigos, os autores argumentam que a mudança climática é mais do que apenas um “problema perverso”, ela é, na verdade, um “problema super perverso”. De acordo com os autores, os problemas super perversos são uma nova classe de problemas ambientais globais com quatro características principais adicionais:

1. Estão sujeitos à uma condição de urgência (“o tempo está se esgotando”);
2. Aqueles que causam o problema também buscam fornecer uma solução;
3. A autoridade central necessária para lidar com eles é fraca ou inexistente; e
4. Ocorre um desalento irracional que empurra as respostas para o futuro.

Juntos, tais aspectos podem criar uma tragédia, visto que as instituições de governança e suas políticas geradas (ou que deixam de ser geradas) respondem amplamente a horizontes de curto prazo, mesmo quando as possíveis implicações catastróficas são maiores do que quaisquer benefícios reais ou percebidos da inação.

As causas das mudanças climáticas são múltiplas e complexas, seus impactos são incertos e inter-relacionados e as soluções potenciais para as mudanças climáticas podem causar mais problemas. Problemas perversos são caracterizados pela profunda complexidade científica, algumas incertezas significativas, níveis variados de consenso sobre aspectos específicos, incerteza econômica em torno dos conflitos e custos envolvidos, falta de acordo sobre a eficácia das políticas de mitigação e adaptação, intensas divergências de valores entre diferentes setores de interesse, além de questões éticas profundas e até mesmo falta de acordo sobre qual é o problema. Os economistas geralmente pensam sobre os custos envolvidos. Os ecologistas falam sobre estarmos rumando em direção à beira de um penhasco. Ambas as visões parecem certas, mas há uma grande questão: é possível conciliar essas duas visões?

Portanto, para um problema perverso que envolve muitas partes interessadas com diferentes valores e prioridades, as soluções não podem ser encontradas atendendo às necessidades de todos os envolvidos. O fato de a mudança climática ser um problema super perverso significa que não há um caminho único para enfrentá-la. E assim, o mercado de carbono, como uma estratégia tão amplamente vista como promissora, não conseguiu corresponder ao seu ideal. Hoje, considerando que os preços de carbono são muito baixos e restritos para reduzir significativamente as emissões, os mercados de carbono se resumem como uma história de boas intenções frustradas pelas realidades econômicas e políticas.

#### **I.2.9.7. Prognóstico geral das mudanças climáticas<sup>535</sup>**

A mudança climática, ou mais especificamente a mudança climática antropogênica, é um problema perverso prototípico: ele é inerentemente um problema social, imerso em sociedades pluralistas com tradições e interesses diversos, onde raramente há consenso sobre a natureza do problema, muito menos sobre sua solução. Considerado como um problema grave em geral, tem muitas partes interessadas e qualquer tentativa de solução tem várias consequências, pois suas implicações se propagam para as várias partes afetadas. Se a solução é certa ou errada, não é julgada por padrões absolutos ou objetivos, mas pelos interesses e valores das partes interessadas.

A fundamentação do problema climático está enraizada na ciência; as soluções estão ligadas às

tecnologias de energia, economia e política, bem como às aspirações e comportamentos humanos; e há muitas partes interessadas com interesses conflitantes. Fatores políticos e econômicos se avultam, influenciando nações desenvolvidas e em desenvolvimento de maneiras diferentes e criando tensões dentro e entre as nações. Os custos associados à abordagem do problema em escalas apropriadas são grandes, desafiando a capacidade dos governos e do mercado financeiro de fazer os investimentos adequados. O comportamento humano e as ideologias também são influentes, assim como as dimensões éticas, filosóficas e religiosas. Com tal conjunto de fatores contribuintes, não é surpreendente que pontos de vista divergentes tenham surgido, impedindo os esforços para lidar com o problema das mudanças climáticas. Para problemas graves, uma solução não serve para todos.

É improvável que as mudanças climáticas sejam mitigadas de forma satisfatória por um esforço global bem organizado, colaborativo e eficaz. Para alcançar uma solução global, cooperação global é requerida. No entanto, as condições ultrapassaram o ponto em que o ônus da ação pode recair exclusivamente sobre as nações desenvolvidas. A expectativa internacional seria todas as nações encontrar maneiras de contribuir. Mas isso é uma expectativa realista? Abundam os interesses especiais e, em muitas nações, as percepções de uma ameaça séria são ofuscadas por questões internas mais urgentes. E, para todos os tipos de questões econômicas e políticas, o mundo está se tornando menos administrável, tornando uma abordagem global integrada à mudança climática muito mais problemática. Para as nações em desenvolvimento, o crescimento econômico continuará sendo uma alta prioridade por décadas.

Quando aspectos econômicos e ambientais são justapostos no discurso público, é o argumento econômico que prevalece. Busca-se um equilíbrio entre duas características desejáveis, mas que parecem ser incompatíveis. Muitas nações em desenvolvimento estão plenamente cientes das possíveis implicações das mudanças climáticas e de sua própria vulnerabilidade. Mas suas preocupações ambientais de longo prazo são superadas por necessidades mais imediatas de crescimento econômico, particularmente em formas que melhorem os padrões de vida, oportunidades de emprego e estabilidade política. O que seria necessário para essas nações se comprometerem com um plano para reduzir suas trajetórias de emissões de GEEs? Muito! Os países desenvolvidos teriam que contribuir com apoio financeiro e técnico para os países em desenvolvimento e,

<sup>535</sup> Baseado em Incropera (2015).

como medida de boa-fé, teriam que se comprometer com grandes reduções em suas próprias emissões. Ambas as medidas são improváveis, especialmente em um momento em que muitos países desenvolvidos estão passando por uma estagnação econômica.

É altamente improvável que seja alcançada a meta de reduzir as emissões globais para 20% dos níveis de 1990 até 2050. Essa é a meta aproximada associada a manter as concentrações atmosféricas de CO<sub>2</sub> abaixo de 450 ppm e o aquecimento abaixo de 2 °C. Considere as tendências atuais, estamos longe de atingir o pretensioso objetivo. As emissões aumentaram 45% entre 1990 e 2010. Para a China e a Índia, aumentaram 257% e 180%, respectivamente, ressaltando o aumento da demanda por energia que acompanha o rápido crescimento econômico e a necessidade de atender a maior parte da demanda com combustíveis fósseis. De 2010 a 2040, as emissões globais de combustíveis fósseis devem aumentar a uma taxa anual de 1,3% de aproximadamente, partindo de 31 Gt-CO<sub>2</sub> para 45 Gt-CO<sub>2</sub>, impulsionadas em grande parte pelo crescimento econômico nas nações em desenvolvimento. Ainda outro impulsionador será o rápido crescimento da produção de petróleo e gás que ocorre nas Américas, na África e, possivelmente, no Ártico. Os avanços nas tecnologias de perfuração estão fornecendo acesso a grandes quantidades de petróleo e gás embutidos em formações rochosas de xisto e em águas profundas do oceano, enquanto a produção de petróleo das areias betuminosas do Canadá continua a aumentar. Mesmo em face da crescente demanda global, esses desenvolvimentos irão moderar os custos de combustível, sustentando altos níveis de consumo e emissões. É difícil ver como a concentração atmosférica de dióxido de carbono pode ser estabilizada em 550 ppm, muito menos 450 ppm. E se o *business-as-usual* prevalecer, chegar a 650 ppm até o final do século está dentro do reino das possibilidades.

## 1.2.10. REFLEXÕES FINAIS

Vimos que o alarmismo midiático busca provocar um incômodo motivador de uma ação (prevenção/reação), mas quando seus efeitos alarmistas passam do limite, podem provocar medos e ansiedades que tendem à resignação (inação) e aceitação da tragédia inevitável.

Mensagens terríveis e imagens horrendas que alertam sobre a gravidade do aquecimento global e seus supostos perigos pode, inclusive, ser um “tiro pelo culatra”, paradoxalmente aumentando o ceticismo sobre o aquecimento global.

Existem pessoas que conhecem o poder do medo para manipular conscientemente a psicologia das pessoas – ultimamente atingindo os jovens, mais vulneráveis – de uma forma que está errada e que deve parar. O que as pessoas precisam entender é que existem cenários extremos e eles não são a mesma coisa que uma ciência preditiva, precisa e exata. Na verdade, os cientistas dizem que, embora algum aquecimento esteja ocorrendo, a ação agora pode evitar algumas possíveis consequências ruins. No entanto, entre tantos cenários possíveis, ainda existem muitas alternativas igualmente viáveis entre um futuro de completa ruína e um futuro bom, não catastrófico.

Apostamos e acreditamos na seguinte hipótese, moderada e, ao nosso ver, mais realista: as emissões de GEEs continuarão subindo, mas, no ano de 2100, a temperatura global não terá subido além dos 1,5 °C<sup>536</sup>. E a catástrofe hoje propagada, também não se concretizará. Mas, como pode isso? Bom, primeiro, seguindo a tendência atual, a queima de combustíveis fósseis ainda continuará em crescimento por décadas (de 30 a 50 anos). Os planos, intenções e esforços para reverter isso são inócuos hoje. Assim, a humanidade não conseguirá cumprir nenhum de seus acordos climáticos de redução significativa dos GEEs. Esse fracasso naturalmente induz à imaginação do colapso inevitável e a instauração de um caos ecológico-econômico-social. Todavia, na verdade o ritmo de aumento das temperaturas globais não será tão drástico, em virtude a influência de fatores externos (naturais) que ditam o clima na Terra e que são capazes de arrefecer o planeta. Não só as temperaturas irão apresentar valores aceitáveis, mas também outros parâmetros e indicadores ambientais também não implicarão na catástrofe hoje anunciada. No futuro de (ano 2050 a 2100), os impactos observados não se mostrarão tão severos quanto os que hoje são imaginados. Logo, ficará demonstrado que, apesar do aumento dos GEEs, o aumento da temperatura não concretizará as previsões obtidas pelos atuais modelos climáticos.

No final das contas, pode-se dizer que o fracasso em tentar controlar e reduzir emissões de GEEs terá sido um

<sup>536</sup> Para alicerçar essa alegação, usamos como base os resultados de modelagens climáticas obtidos por Scafetta (2021a), em que o autor compara projeções típicas do IPCC e apresenta cenários alternativos. Nos gráficos comparativos, em especial na Figura 11-A do citado artigo, nota-se que o aumento da temperatura em 1,5 °C (valor estabelecido pelo Acordo de Paris como o limite máximo de aumento da temperatura global acima dos níveis pré-industriais para evitar o pior dos impactos das mudanças climáticas) pode ocorrer entre 2030 a 2040, quando analisado as previsões dadas pelo cenário médio do IPCC. No entanto, no novo modelo proposto pelo autor, a taxa de

aquecimento pode ser menor que isso: tal aumento (1,5 °C) da temperatura global poderia ser atingido somente entre 2080 a 2100 (enquanto que, o cenário médio do IPCC prevê um aumento de 3,0 °C em 2100). Na elaboração desse modelo, o autor considera forças naturais (astronômicas) como fatores de forte influência no clima da Terra, capazes de atenuar o efeito das forçamentos antropogênicos decorrentes das emissões de GEEs.

esforço imprestável, um desperdício de planos malfadados e recursos mal empregados. Mas, por outro lado, a humanidade reconhecerá a pujança da natureza e sua capacidade de conseguir controlar e manter o equilíbrio climático terrestre em condições ainda adequadas e hospitaleiras à habitação e sobrevivência humana. Em suma: não importa o quanto serão as emissões de GEEs, pois a temperatura não subirá tanto, e os impactos das mudanças climáticas não serão tão drásticos, catastróficos, trágicos, colapsantes, devastadores, dramáticos ou irreversíveis – ao contrário do que disseminam hoje. Todos esses cenários apocalípticos cairão por terra, e todos aqueles cientistas, jornalistas e ambientalistas alarmistas serão provados enganados e errados em suas previsões descomedidas. Imagens desoladoras de um planeta devastado, não serão a realidade. A Terra provará que a vida continuará prosperando. Os humanos continuarão sobrevivendo e, com bons avanços tecnológicos, também terão aprendido a respeitar e cuidar melhor do seu planeta.

Não é justo permitir a continuidade dessa política concentrada na “ruína e escuridão” (*doom and gloom*, em inglês), do alarmismo climático exagerado, instilando um medo despropositado que tem flagelado e preocupado uma geração de pessoas, inclusive com impactos psicológicos graves em jovens e crianças. Afinal de contas, por apostar na chance de um caos climático acontecer no futuro, vale a pena atormentar mentes humanas hoje e sacrificar as esperanças de um futuro viável, não apocalíptico? Veja só: quando olhamos para trás e analisamos o primeiro episódio de eco-ansiedade moderna, relativo ao período em que uma enorme massa de pessoas apresentou doença ambiental na década de 80, onde elas se isolavam no campo, evitavam a eletricidade e alimentação industrializada etc., o que pensamos de imediato? “Nossa, que ridículo! Como essas pessoas pensaram isso de verdade e acreditaram nesses absurdos todos?”. No futuro, quando percebermos que a profecia do colapso climático não se realizou, pode ser que, sobre nós hoje, as gerações futuras pensem exatamente a mesma coisa: “Que ingênuos, que ridículos! Estavam todos completamente enganados”.

Diante de uma grande ameaça, é claro que o senso humano tende fortemente a prevalecer o “princípio da precaução”, de que, não sabendo exatamente quais as extensões dos efeitos deletérios de eventos incertos e potencialmente impactantes, então é melhor tentar fazer algo para evitá-los. Mas o irresistível apelo à evocação de tal princípio tem tido o seu custo hoje: o efeito colateral mental com o surgimento e incremento de doenças ambientais psicológicas, como a eco-ansiedade, entre tantas outras citadas anteriormente. Parece ser desumano causar dores reais, sentidas de modo verdadeiro na mente

humana, por conta de algo ainda irreal, o risco de futuro colapso climático previsto, não comprovado ou concretizado. Na intenção de evitar um mal maior (o futuro de um clima apocalíptico), o nobre princípio da precaução assume, ambigualmente, um papel contraproducente, perverso e nefasto; ele tem causado um mal atual concreto, um sofrimento descabido e injustificável. Qualquer pessoa minimamente ponderada é capaz de perceber que o limite do exagero alarmista foi ultrapassado, com sérias consequências sendo sentidas na atualidade.

A postura assumida na crítica sobre o descomedimento do problema climático pode gerar julgamentos por aqueles que acreditam e disseminam o alarmismo desenfreado. Eles têm a favor o princípio da precaução, a propensão ao respeito ambiental, a preocupação com a Terra, com a humanidade e suas gerações futuras. Ou seja, eles possuem fortes e dignos argumentos de que são pessoas bem intencionadas, altruístas, que buscam o bem coletivo, o equilíbrio ecológico e a harmonia entre o ser humano e a natureza. Contudo, quando discordamos da justificativa (aquecimento global antropogênico), não quer dizer que, por um ponto de divergência, somos, automática e completamente opostos contra todas as ideias tais desses cientistas, ambientalistas e ativistas. Não pretendemos negar a importância das mudanças de condutas que visam as nobres melhorias ambientais e tecnológicas: se o desmatamento contribui com as emissões de GEEs, e se admitimos que o aumento dos GEEs não teria efeito climático tão pernicioso, então não quer dizer que sejamos contra as medidas de redução do desmatamento e preservação das florestas. Se recusar a conceber um efeito (mudança climática), que acreditamos não possuir fortes nexos causais com os diversos fatores, não significa menosprezar os cuidados com o meio ambiente. Precisamos sim aprender a cuidar melhor das florestas, da biodiversidade, dos recursos genéticos – não porque o desmatamento contribui com as mudanças climáticas, mas sim pelas suas funções ecossistêmicas essenciais para manutenção do equilíbrio ecológico que sustenta toda vida na Terra, inclusive a dos seres humanos. Precisamos pensar em buscar novas fontes renováveis de energia não porque as fontes fósseis estejam contribuindo com o aquecimento global, mas sim porque as fontes não renováveis, como o próprio nome diz, não são renovadas e, portanto, são finitas e um dia acabarão. A busca de novas fontes de energia é um passo inevitável para o progresso contínuo da humanidade na satisfação de suas necessidades. Portanto, discordar da falsa justificativa do aquecimento global não é apoiar o desmatamento desenfreado, além dos limites da capacidade suporte, tampouco negar a necessidade do estímulo à inovação

tecnológica para o aprimoramento das novas fontes de energia.

Aqueles que tentam contrariar ou criticar a profusa hipótese do aquecimento global antropogênico oferecem muita margem para serem tachados como “negacionistas”, entre outros termos pejorativos do gênero. No entanto, a tentativa de refutar a distorcida insistência em relacionar as mudanças climáticas com todos os demais impactos ambientais não deve ser confundida com uma explícita ou debochada indiferença pelas questões ambientais. Muito pelo contrário! Concordamos sim com todas as possíveis soluções dos problemas ambientais: precisamos combater o desmatamento sim! Porque desmatar implica sérios prejuízos à fauna e à flora, à biodiversidade dos ecossistemas como um todo, e não porque contribui com emissões de GEEs. Precisamos sim rever a matriz energética mundial, baseada nos combustíveis fósseis (petróleo, carvão e gás), porque um dia esses recursos, que são escassos, irão acabar, e porque a queima deles emite poluentes [não os GEEs, mas sim monóxido de carbono (CO), cinzas e particulados, óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>) e óxidos de enxofre (SO<sub>x</sub>) e ozônio troposférico (O<sub>3</sub>), entre outros], mas não porque os GEEs contribuem com o aquecimento global. Consequentemente, é certo que precisamos continuar investindo em tecnologias e fontes de energias renováveis (energia solar, eólica, hidrogênio), porque, com o fim da era do petróleo, outras fontes deverão naturalmente suprir as demandas energéticas mundiais. Devemos rever as formas de produção de alimentos, aumentar a eficiência da agricultura e da pecuária, bem como mudar hábitos alimentares, porque é necessário evitar exageros individuais e acabar com a má distribuição mundial de alimentos, extinguindo a fome e favorecendo uma alimentação saudável e acessível para todos – e não porque tal setor alimentício contribui com as mudanças climáticas. É imprescindível reavaliar comportamentos consumistas desnecessários, visando comprar menos roupas, sapatos, itens de consumo supérfluos e de ostentação, porque ainda impera a justiça social em que alguns possuem dezenas desses itens de luxo e de grife (além de iates, helicópteros e mansões) enquanto que

muitos mal tem onde dormir, o que vestir e comer; enfim, é nítido que todos têm o direito e devem sim viver uma vida com um mínimo de dignidade humana. É indispensável repensar sobre os meios de transporte, incentivar e subsidiar carros elétricos<sup>537</sup>, construir ciclovias, aprimorar sistemas de transportes públicos, ordenar o crescimento urbano visando a boa locomoção, porque o setor de transportes emite muita poluição<sup>538</sup> (os mesmos poluentes já citados na queima de combustíveis fósseis), causa tráfego e engarrafamentos (e uma boa perda de tempo e estresse!), e não porque emitem GEEs causadores do aumento das temperaturas globais. Enfim, todas essas soluções ambientais, assumidas generalizadamente com possível repercussão climática, são indiscutivelmente válidas e imprescindíveis, mas pelos seus respectivos motivos inerentes citados, e não devido unicamente às suas possíveis influências negativas nas mudanças climáticas. Combater uma falsa motivação (mudanças climáticas) não é negar nem menosprezar as soluções dos problemas ambientais e sociais, de causas complexas e variadas.

Adotamos uma postura ponderada, nada extremada: não concordamos com os “aquecimentistas” alarmistas extremos, que apostam nos piores cenários da tragédia climática; e também não somos “negacionistas” do aquecimento global, pois acreditamos sim que está ocorrendo um aumento médio da temperatura global. Todavia, somos céticos aos motivos desse aquecimento: as causas antropogênicas não são exclusivas e determinantes, visto que é bastante provável a existência e forte influência de componentes naturais, cujos efeitos atenuam parte do aquecimento antropogênico. Assumimos uma posição que é parecida com a designação<sup>539</sup> *lukewarmers*<sup>540</sup> (tradução livre: “mornos”), cujo ponto de vista geral sustenta que o mundo está esquentando e que uma fração limitada disso se deve aos humanos. Diferimos das visões tradicionais porque não estamos convencidos de que haja um risco substancial de que o aquecimento futuro possa ser devastador ou seus impactos severos, ou que políticas de mitigação fortes sejam desejáveis. Nesse sentido, não apoiamos medidas de mitigação (redução das emissões de GEEs) que tenham como única justificativa combater o

<sup>537</sup> Enquanto novas tecnologias (carros elétricos, energia solar domiciliar) forem caras, comprá-las é um luxo que somente os mais abastados financeiramente têm condições de usufruir da novidade no consumo desses itens. Os altos valores pagos em tais itens implicitamente remetem à sensação de exclusividade, ostentação e superioridade dos compradores.

<sup>538</sup> Segundo a Organização Mundial de Saúde (<https://www.who.int/news-room/air-pollution>), estima-se que a poluição atmosférica urbana ao ar livre causa, no mundo, cerca de 4 milhões de mortes por ano.

<sup>539</sup> As controvérsias e discussões que envolvem as mudanças climáticas têm implicado diversas rotulagens e designações obsessivas (algumas vezes pejorativas e ácidas), que são amplamente utilizadas nas redes sociais e também em mídias convencionais (em menor escala, e com menor teor ofensivo). Inclusive, tais designações foram motivo de estudo de Howarth e Sharman (2015), no qual argumenta-se que estes frequentes e rígidos rótulos binários estão produzindo um discurso hostil e combativo sobre as mudanças climáticas no âmbito de um debate cada vez mais polarizado.

<sup>540</sup> Mais detalhes em Edwards (2015) e Michaels e Knappenberger (2015).

aquecimento global. Mas, por outro lado, apoiamos medidas de adaptação aos efeitos das mudanças climáticas que eventualmente surgirem no futuro – acreditando que a magnitude desses impactos não será nefasta nem implacável, mas sim suportável e contornável por meio de investimentos e tecnologias apropriadas.

O ponto aqui é admitir que todas as mudanças e soluções para problemas ambientais e sociais correlatos devem ser defendidas pelos suas justificativas e necessidades próprias, e não simplesmente utilizar o bode expiatório dos GEEs ou o coringa do aquecimento global como a culpa de todos essas adversidades enfrentadas pela humanidade. Basta, portanto, colocar em prática as soluções, sem evocar os problemas com as mudanças climáticas, pois, assim, evita-se o abuso excessivo da exploração da tragédia ambiental, que hoje tem causado distúrbios emocionais nas pessoas psicologicamente vulneráveis.

Pretender associar todos os problemas ambientais, sociais e econômicos às mudanças climáticas foi um grande tiro no pé: criaram um problema enorme, um “problema perverso”, que hoje, de tão grande e monstruoso, se tornou impossível de resolvê-lo. Realmente, é tentadora a ideia de que a abrupta redução<sup>541</sup> até zera completamente as emissões de GEEs seria uma única solução definitiva de todos esses inúmeras mazelas da humanidade. Na realidade, nada é tão simples assim. Mas deixar de falar em mudanças climáticas, e tentar abordar os problemas sem ter que mencionar o clima, talvez seja um caminho possível para encontrar soluções diferentes e específicas para cada tipo de situação problemática.

O cerne da questão climática é como controlar o tamanho que o problema adquiriu. No combate ao alarmismo climático, deve-se moderar o alimento que faz crescer o monstro do aquecimento global: tanto jornalistas quanto ativistas têm a obrigação de descrever os problemas ambientais de maneira honesta e precisa, mesmo que temam que isso reduza o valor das notícias

<sup>541</sup> A propósito, dois recentes estudos, ambos de 2020, apresentam alguns resultados desalentadores. O primeiro artigo (RANDERS; GOLUKE, 2020), contrariando a expectativa do IPCC – de que se as emissões de GEEs forem reduzidas de acordo com o Acordo de Paris, o clima se estabilizará no próximo século – aponta que, mesmo que as emissões de GEEs antropogênicas possam ser reduzidas a zero, as temperaturas globais podem continuar a aumentar por séculos depois, até 2500. Na hipótese em que todas as emissões antropogênicas de GEEs são reduzidas a zero durante o ano de 2020, os autores estimam que, após um declínio inicial, as temperaturas globais ainda seriam cerca de 3 °C mais altas. Para evitar o aumento projetado da temperatura e do nível do mar, os autores sugeriram que todas as emissões antrópicas de GEEs teriam que ter sido reduzidas a zero entre 1960 e 1970, quando o aquecimento global ainda estava abaixo de 0,5 °C. Sobre esse primeiro artigo, um dos autores principais do IPCC afirma (RENWICK, 2020) que “os resultados apresentados neste artigo são muito implausíveis e não devem ser vistos como causa de alarme”. No entanto, o artigo repercutiu da seguinte forma: “não adianta fazer mais nada, pois o aquecimento global é irrefreável e irreversível, teria ultrapassado o ‘ponto sem retorno’”. O segundo artigo

ou destaque para o público. Há boas evidências de que o enquadramento catastrofista da mudança climática é autodestrutivo porque aliena e polariza muitas pessoas. E exagerar nas mudanças climáticas corre o risco de nos distrair de outras questões importantes, incluindo aquelas sobre as quais podemos ter mais controle a curto prazo.

Por fim, fazemos um apelo sincero: clamamos pela moderação e parcimônia científica, jornalística e midiática na cobertura sobre as questões climáticas. Enquanto isso não ocorre, contra a sensação de emergência e colapso climático, utilizemos o escudo da prudência e robustez científica; e contra a exageração alarmista, recorramos à profunda análise crítica e raciocínio ponderado dos fatos<sup>542</sup>. As pessoas merecem compreender as realidades climáticas, atual e futura, como elas são de verdade, e não como algo trágico, conforme certos grupos de interesse desejam e continuam mostrando.

## I.2.11. RESPOSTA SINTÉTICA À PERGUNTA 01

Para chegar até aqui, percorremos um longo caminho. Apresentamos uma extensa revisão de conceitos e contextualização que permitirão uma melhor compressão da temática climática contemporânea. Conforme prometido, agora sim é possível expressar uma opinião fundamentada em todo esse compilado de informações anteriormente apresentadas.

Como resposta (referenciada) à **PERGUNTA 01** (p. 473), opino:

### I.2.11.1. Breve resumo e contextualização

Em relação ao alarmismo climático gerado majoritariamente pela mídia, adotamos uma postura crítica porque ele tem gerado exorbitante (e descabido) grau de *preocupação, medo e ansiedade*<sup>543</sup> nas pessoas. O nível

(SAMSET; FUGLESTVEDT; LUND, 2020) alega que, mesmo que os humanos reduzam drasticamente as emissões de GEEs agora, ainda pode levar décadas antes que fique claro que essas ações começarão a diminuir a taxa de aquecimento da Terra. Com base nos dois trabalhos elencados, nota-se que inclusive os artigos científicos têm contribuído com o exagero de cenários trágicos, inevitáveis, consubstanciando algumas impressões populares de que já estaríamos em um “ponto sem retorno”, irreversível.

<sup>542</sup> Tendo essas diretrizes em mente que publicamos um capítulo de livro (OLIVEIRA; VECCHIA; CARNEIRO, 2016), no qual apresentamos subsídios para incentivar o raciocínio científico e crítico com vistas à superação da ignorância e analfabetismo científico, em rumo à literacia climática.

<sup>543</sup> Cf. item “1.2.6. REAÇÃO AO ALARMISMO CLIMÁTICO” (p. 49) e subitens.

do o *alarde é tão exagerado*<sup>544</sup> que problemas psicológicos mais sérios (*doenças ambientais*<sup>545</sup> como a *eco-ansiedade*<sup>546</sup>, entre outros) têm sido observados em *quantidade preocupante de indivíduos*<sup>547</sup>, especialmente em *crianças e jovens*<sup>548</sup> –mais vulneráveis ao alarmismo.

Por meio de variados *discursos inflamados*<sup>549</sup> e representações visuais repletas de conteúdo trágico (como o *eco-terror*<sup>550</sup>), fundamentados na evocação da *emergência e colapso climático*<sup>551</sup>, representantes dos setores científicos, jornalísticos, midiáticos, religiosos, artísticos, políticos, ambientalistas e populares abusam do sensacionalismo climático-apocalíptico. Bombardeando informações por meio de elevada *produção científica*<sup>552</sup> e *divulgação midiática*<sup>553</sup>, tais atores apelam para o lado emocional do público, emulando provocações viscerais de pavor, cujas *raízes psicológicas e fisiológicas do medo*<sup>554</sup> (mecanismo biológico de sobrevivência) assumem, nesse contexto alarmista, um papel de fragilidade humana que é explorada inescrupulosamente. Agindo como *amplificadores sociais dos riscos*<sup>555</sup>, os citados setores envolvidos são capazes de deturpar a *percepção dos riscos*<sup>556</sup>, induzindo o aumento exacerbado dos *riscos percebidos*<sup>557</sup>, distorcidos e significativamente superiores em relação aos *riscos reais*. Uma vez instaurados níveis altos de preocupação nas pessoas, *sintomas de eco-ansiedade e/ou ansiedade climática*<sup>558</sup> podem acometer indivíduos psicologicamente vulneráveis. Dependendo da gravidade do caso, é necessário recorrer a *tratamentos da eco-ansiedade*<sup>559</sup>.

Diante do breve resumo e visão holística da problemática climática, percebe-se que está equivocada a impressão de que “a imprensa não transmite a devida urgência do problema”. A mídia têm desempenhado com

bastante eficiência o seu papel, fato que é percebido pelo elevado nível de preocupação das pessoas – parte delas, inclusive, está sofrendo de verdade com problemas de eco-ansiedade. A falta de “respostas suficientemente rápidas” não é culpa da mídia (altamente alarmista) nem das pessoas (exageradamente preocupadas), mas sim no fracasso político de implementar as soluções já existentes. O cerne do problema climático reside no fato de o *caminho da solução*<sup>560</sup> ser mais uma questão de escolha e favorecimento do aspecto econômico em detrimento dos fatores ambientais: *ainda é mais barato investir em energias baseadas em combustíveis fósseis do que em fontes renováveis*<sup>561</sup>. A tão sonhada *transição energética*<sup>562</sup> caminha em ritmo extremamente lento, bastante aquém do almejado. Portanto, no ritmo atual, estamos longe de promover reduções significativas de gases de efeito estufa.

### I.2.11.2. Papel e conduta da mídia

Quanto ao papel da mídia, como ela pode continuar alertando sobre o problema climático sem causar ansiedade desmotivadora e contraproducente? Bom, primeiro, uma coisa parece ser incompatível com a outra: o alarmismo climático gera efeitos colaterais de eco-ansiedade. Para evitar ou acabar com o efeito colateral, é necessário interromper o motivo causador, ou seja, a mídia necessitaria rever sua conduta e moderar o discurso sensacionalista. Isso é difícil de ocorrer, pois sabemos que a mídia continuará tendo motivos para vender notícias e lucrar com publicidade. Pelo contrário, a tendência geral é sempre de “aumentar a dose” do terrorismo climático. Mas essas doses de catastrofismo climático não são indefinidamente aplicadas; elas variam de acordo alguns *ciclos midiáticos que correspondem às publicações de relatórios do*

<sup>544</sup> Cf. item “1.2.5. DISPARADORES DO ALARME CLIMÁTICO” (p. 34) e subitens.

<sup>545</sup> Cf. item “1.2.8. DOENÇAS AMBIENTAIS” (p. 73) e subitens.

<sup>546</sup> Cf. item “1.2.8.3. Eco-ansiedade na atualidade” (p. 80).

<sup>547</sup> Cf. item “1.2.6.2. Níveis de preocupação das pessoas” (p. 51).

<sup>548</sup> Cf. item “1.2.7.6. Jovens: os mais vulneráveis ao alarmismo” (p. 67).

<sup>549</sup> Cf. itens “1.2.5.7. Discursos midiáticos” (p. 47) e “1.2.5.8. Discursos de autoridades, lideranças, famosos, celebridades, ativistas etc.” (p. 49).

<sup>550</sup> Cf. nota de rodapé n. 492.

<sup>551</sup> Cf. itens “1.2.1.1. Crise ou emergência climática e o colapso ambiental-civilizacional: uma tragédia anunciada inevitável?” (p. 464), “1.2.1.2. Colapsologia e eco-catastrofismo: a racionalização da tragédia (catástrofe, colapso e apocalipse)” (p. 3) e “1.2.5.6. Popularização de palavras e termos” (p. 40).

<sup>552</sup> Cf. item “1.2.5.4. Níveis de produção científica” (p. 38).

<sup>553</sup> Cf. item “1.2.5.5. Níveis de divulgação midiática” (p. 39).

<sup>554</sup> Cf. itens “1.2.3.2. Raízes psicológicas da ansiedade: medo do desconhecido e a incerteza sobre o futuro” (p. 20) e “1.2.3.3. Fisiologia e neurologia do medo” (p. 22).

<sup>555</sup> Cf. item “1.2.7.3. Amplificação social do risco” (p. 57).

<sup>556</sup> Cf. item “1.2.7.1. Percepção humana dos riscos” (p. 54).

<sup>557</sup> Cf. item “1.2.7.2. Análise de risco: riscos percebidos e riscos reais” (p. 55).

<sup>558</sup> Cf. item “1.2.8.4. Sintomas da eco-ansiedade/ansiedade climática” (p. 81).

<sup>559</sup> Cf. item “1.2.8.7. Tratamento da eco-ansiedade” (p. 85). A magnitude do problema psicológico associado à eco-ansiedade é tão extraordinária que o fenômeno tem motivado vertentes inéditas de pesquisas científicas nunca antes imaginadas, envolvendo diferentes pesquisadores e profissionais (Médicos, Psiquiatras, Psicólogos Sociais, “Psicólogos do Clima”), bem como técnicas de mensuração do problema (escalas de preocupação ambiental e/ou climática etc.).

<sup>560</sup> Cf. item “1.2.9.2. Possíveis soluções do problema climático” (p. 92)

<sup>561</sup> Cf. item “1.2.9.4. Combate às mudanças climáticas: custos e investimentos financeiros” (p. 91).

<sup>562</sup> Cf. item “1.2.9.5. Transição energética: o fim da “era do petróleo?”” (p. 92).

IPCC<sup>563</sup>. Assim, ainda por um bom tempo, podem persistir ciclos de revigoração de preocupação e repetidas prorrogações do colapso climático. E a cada ciclo, ocorre a renovação do público atingido. No último ciclo recente (iniciado em 2017), os jovens foram os alvos mais atingidos.

À disposição da imprensa, não existem inúmeras fórmulas mágicas para ela inovar na tentativa de mudar um fato incontestável: todo problema tem o seu “ciclo de problema-atenção” [conforme explicado em Oliveira, Carneiro e Vecchia (2017)], que fortemente influencia as atitudes e o comportamento do público em relação à maioria dos principais problemas cotidianos. Nessa concepção, cada problema proeminente permanece por um curto período de tempo no centro da atenção pública e, em seguida, ainda que não resolvido, gradualmente desaparece, cedendo espaço a um novo problema saliente do momento. Nesse sentido, são necessários alguns apontamentos: primeiro, a mídia, ao perceber que as atitudes concretas não correspondem aos apelos pelas ações esperadas, podem tentar buscar cada vez investir no incremento da “dose” do alarmismo, cada vez mais exagerando no vocabulário, na linguagem e nas imagens apelativas, tentando chocar ainda mais as pessoas, mediante o discurso da tragédia e do medo associado. Mesmo que essa “dose” seja sucessivamente multiplicada, todavia, seu efeito não será sentido na mesma proporção. Existe um certo nível do teor alarmista em que são impostas algumas barreiras como a saturação, a naturalização e aceitação da tragédia, a incredulidade na mídia e na Ciência, e a conseqüente inação e indiferença perante todas as dificuldades envolvidas no enfrentamento dos problemas que, por exagero na dose do alarmismo, adquiriram uma proporção vista como assustadoramente impossível de ser resolvida.

No final das contas, ao criar um *imenso monstro das mudanças climáticas*<sup>564</sup>, as pessoas percebem o quão difícil e onerosa seria a solução para exterminar essa “quimera” (figura mística de um monstro com três cabeças, que lança fogo pelas narinas). Diante do tamanho desse desafio de ordem global, algumas pessoas simplesmente ficam desanimadas e desencorajadas (reconhecem o problema, mas desistem de tentar ajudar a resolver); outras pessoas se sentem ameaçadas pelo problema, mas, impotentes, reprimem esses pensamentos angustiantes; e outras pessoas, anestesiadas, simplesmente não dão mais tanta importância ao problema, seja por tédio, desinteresse, ou por ter desviado

o foco para um novo fato mais preocupante naquele instante.

A mídia continuará insistindo em informar por meio de manchetes de impacto psicológico exagerado, com base nos piores cenários de modelos climáticos divulgados pelos cientistas. Assim, continuarão publicando notícias absurdamente alarmistas que citam, por exemplo [conforme relatado em Oliveira (2010, p. 313)]: a possibilidade de metade do mundo se tornar inabitável até 2300, com o aquecimento médio de 12°C; a possibilidade de a raça humana de tornar extinta em 100 anos; ou mesmo a humanidade entrar em extinção em até 50 anos, se a Terra aquecer 6° C.

A crença geral é que, a fim de manter a atenção do público na questão da catástrofe climática, deve-se apresentar novos conteúdos de formar cada vez mais atraente e comovente. No entanto, a atenção pública não continuará a se preocupar sobre estas questões por muito tempo. Diante da *urgência e priorização dos problemas*<sup>565</sup>, logo as pessoas se habituarão às advertências do clima e voltarão a se preocupar com questões mais cotidianas: o desemprego, a falta de educação de qualidade, de condições adequadas do sistema de saúde, de transporte público etc. E por causa da falta de atenção que vai se instaurando, serão noticiados os perigos das alterações climáticas em detalhes cada vez mais escabrosos e apavorantes. Logo, esses cenários vão se tornando insuficientemente dramáticos e chocantes.

Com todo este estado amedrontador mantido e alimentado pela mídia, a expectativa é de que o medo obrigue as pessoas a agir, mas também pode produzir uma reação um pouco curta. As alterações climáticas, por outro lado, exige uma resposta de longo prazo. E, para garantir que todo o sistema de produção científica e divulgação midiática continue funcionando no longo prazo, cada nova alegação sobre o futuro do clima e do planeta deve ser um pouco mais dramático do que a anterior. E tudo isso conduz a um ciclo vicioso, em que o conhecimento transmitido ao público sobre o clima e os efeitos associados fica dramaticamente distorcido da realidade.

### I.2.11.3. Posicionamento crítico ao alarmismo

Quando nos propomos a assumir uma posição crítica ao alarmismo da mídia na cobertura das mudanças climáticas, pretendemos demonstrar a forma simplificada com que a mídia e a política tratam as evidências e suas incertezas de mudanças climáticas: eles ignoram,

<sup>563</sup> Cf. item “1.2.4.3. Os ciclos e fases do tópico “mudanças climáticas”” (p. 29)

<sup>564</sup> Cf. item “1.2.9.6. Mudanças climáticas: um “super problema perverso” (p. 95).

<sup>565</sup> Cf. item “1.2.2.3. Concorrência e prevalência dos problemas” (p. 17).



desprezam, diminuem a importância das dúvidas e incertezas; e, por outro lado, aumentam, exageram e manipulam as evidências de causas e efeitos de vários problemas que a sociedade enfrenta, não somente relacionados aos aspectos climáticos. A discussão, portanto, não se insere na recusa de assumir a importância do meio ambiente, mas sim de alertar os interesses econômicos envolvidos e os beneficiários das quantias elevadas de investimentos dedicados à solução de um problema que, supostamente, pode não ser tão sério assim. Tudo se resume em uma questão de dedicação excessiva de esforços, focados prioritariamente em um tema que, ao nosso ver, não demandaria tanta atenção quando comparados a tantos outros *problemas ambientais*<sup>566</sup> e *sociais*<sup>567</sup>, ainda mais sérios, que assolam a humanidade diariamente. Tentar resolver o “problema super perverso” das mudanças climáticas é admitir direcionar custos demandados que superam em até 20 vezes os custos necessários para resolver os problemas humanitários que ainda persistem na vida de milhões de pessoas que enfrentam a fome, a falta de educação, saúde, água potável e saneamento básico.

#### I.2.11.4. Atitudes pessoais contra o alarmismo

Se sabemos que mídia persistirá adotando uma confuta alarmista, é possível as pessoas se protegerem disso? Como evitar esse tipo de efeito angustiante, panico-gênico decorrente do alarmismo climático? Níveis extremos de exaustão e preocupação quanto aos riscos de colapsos (ambiental, climático, político, econômico, civilizatório) tem motivado algumas pessoas a fugirem fisicamente, conforme a *cultura sobrevivencialista*<sup>568</sup> em ascensão. Esse tipo de fuga é quantitativamente bastante limitado, restrito a pequenos grupos de adeptos mais fanáticos. Já grande parte da população poderá seguir por três possíveis caminhos mais comuns: 1. Fugir nas atitudes (inação, indiferença), simplesmente ignorando o problema e não sendo afetado por ele; 2. Canalizar a angústia práticas e em atitudes ativistas (em parte retroalimentando e reforçando o alarmismo); ou 3. Quando não há vislumbre de saída, a fuga se dá pela válvula de pressão da saúde mental (*eco-ansiedade*<sup>569</sup>, entre outras demais *doenças ambientais*<sup>570</sup>).

De modo geral, uma forma preventiva de ser influenciado pelo alarmismo climático é saber “filtrar” conteúdos, evitar o contato com o fator estressor, não tomar a dose do veneno que pode fazer mal à saúde mental. É necessário criar uma primeira barreira para não ingerir um alimento psicologicamente indigesto, com efeitos colaterais que podem chegar a níveis preocupantes e incapacitantes de ansiedade e/ou depressão. Um segundo recurso complementar é saber verificar e buscar informações, opiniões e fontes alternativas, contraditórias e confiáveis, com vistas a equilibrar opiniões e argumentações, de modo a diferenciar fatos de ficções, reduzindo o peso de exageros inadequados. Metaforicamente, é equivalente a, após ser alimentado com notícias indigestas, tomar um antiácido para digerir melhor e não se sentir tão pesado, mal e negativamente afetado pela dose impiedosa dos propositais escândalos jornalístico-midiáticos.

#### I.2.11.5. Informações confiáveis em um mundo de *fakenews*, desinformação e pós-verdade

Sobre a estratégia de filtrar o conteúdo, é preciso ter uma capacidade de reconhecer os efeitos deletérios de notícias com conteúdo pernicioso. Poucas pessoas têm essa habilidade bem desenvolvida para compreender muitos assuntos. São poucas as pessoas dispostas a gastar um tempo pesquisando e aprendendo para criar uma imunização contra a desinformação e o sensacionalismo. Vivemos numa época da superficialidade das coisas, sem muita elaboração, raciocínio crítico e discernimento. Vivemos na época das frases curtas de efeito, tipicamente limitadas aos 280 caracteres do *Twitter*. De modo geral, as pessoas são desatentas e cômodas, preferem o imediatismo fácil das certezas irrefletidas e absolutas sobre tudo. Uma postura passiva e incauta vai contra a necessidade de dedicação do considerável tempo e pensamento analítico para compreender as complexas questões técnicas climáticas, seus mecanismos físicos e químicos das causas e efeitos do aquecimento global, bem como as repercussões, na vida mental e cotidiana, das divulgações das notícias relacionadas ao tema.

Aliando-se à já antiga prática do sensacionalismo, vemos na última década o aumento do fenômeno das notícias falsas (*fakenews*) em diversos contextos políticos e

<sup>566</sup> Cf. item “I.2.2.1A “emergência climática” é o maior problema ambiental contemporâneo?” (p. 6).

<sup>567</sup> Cf. item “I.2.2.2. A “emergência climática” é o maior de todos os problemas atuais da humanidade?” (p. 10).

<sup>568</sup> Cf. item “I.2.3.5. Sobrevivencialismo: preparados e protegidos, ou paranoicos para um eventual colapso?” (p. 26).

<sup>569</sup> Cf. item “I.2.8.3. Eco-ansiedade na atualidade” (p. 80).

<sup>570</sup> Cf. item “I.2.8.1. Tipos de doenças ambientais” (p. 73).

científicos. A pandemia da COVID-19 é o caso em destaque que demonstra o acirramento das intrincadas relações entre a mídia e opiniões públicas diante de um cenário de desinformação e confusão de discursos cada vez mais polarizados e acalorados. No final das contas, a Ciência sofre maculações que ferem sua credibilidade conquistada e acumulada ao longo de séculos de aprendizados.

Se antes existia a premissa da divulgação de notícias respeitando-se os princípios da honestidade, imparcialidade, fidelidade e veracidade sobre os fatos, com coerência e em busca pela verdade objetiva, hoje vivenciamos o que é conhecido como “*pós-verdade*”, eleita pela Oxford como “a palavra do ano 2016”<sup>571</sup> com o significado: “relativo ou referente a circunstâncias nas

quais os fatos objetivos são menos influentes na opinião pública do que as emoções e as crenças pessoais. Em vez de simplesmente se referir ao tempo após uma situação ou evento especificado – como no *pós-guerra* ou *pós-jogo* – o prefixo “pós” na *pós-verdade* tem um significado mais parecido com ‘pertencer a um tempo em que o conceito especificado tornou-se sem importância ou irrelevante’”. Ou seja, hoje em dia, a verdade não importa mais. Estamos passando por uma crise da razão, suplantada pelo domínio da emoção. Entramos em uma fase de conflito entre o pensamento crítico (*critical thinking* do inglês), racional, com o “*pensamento desejoso*” (*wishful thinking*, do inglês), movido sob diretrizes especulativas na ânsia de satisfazer um desejo, vontade, aliada a fortes apelos à emoção e a crenças individuais ou coletivas diversas.

### I.3. PERGUNTA 02

**No artigo “A educação no contexto do aquecimento global: da 'eco-ansiedade' ao raciocínio crítico e literacia climática”, vocês apresentam a educação ambiental e a literacia climática como soluções à ecoansiedade. Mas não é verdade que o fenômeno inverso também ocorre – quanto mais conhecimento do assunto, maior a ansiedade?**

A verdade nos liberta da ignorância e da subserviência aos aproveitadores cujas índoles é dominar e enganar para atingir seus anseios egoístas. Essa máxima, que encaixa em diferentes contextos da vida, também se aplica nas interações dos envolvidos, interessados e afetados pela discussão em torno do binômio problema-soluções das mudanças climáticas. E para conhecer a verdade, precisamos sim de mais conhecimento – não só em quantidade, mas sim em qualidade e diversidade de informações. O grande problema nessa enxurrada de informações é que, o que se ganhou em quantidade, diluiu-se a parte boa de informações de qualidade. Por analogia, se temos um imenso oceano (de informações) à disposição, e se quisermos extrair dele o sal (conhecimento útil) que nos interessa, precisamos de ferramentas para remover o que não interessa (a água, ou informações inúteis) concentrar o nosso objeto desejado (o sal, conhecimento útil).

Perceber uma realidade intencionalmente distorcida não é uma tarefa simples, pois uma mentira é mais convincente quando está escondida entre duas verdades. A simples tentativa separar o trigo (o fato puramente verdadeiro) do joio (a porção de enganação) já pode ser

usada por alguns críticos que acusam, de “negacionismo climático”, aqueles que buscam denunciar a parcela dos fatos que possui alto teor enganoso.

Um público geral pouco acostumado a interpretar números e modelos matemáticos fica intimidado e limitado pela seu intelectual desprovido de um raciocínio científico crítico. A maioria da população que, em geral, possui um raciocínio crítico pouco estimulado e parcamente desenvolvido e, portanto, é mais vulnerável a reações emocionais desproporcionais. Logo, a saúde mental de pessoas leigas não pode ser refém de desonestidade intelectual panicogênica.

#### I.3.1. PARÁBOLA DA VERDADE E DOS NÍVEIS DE CONHECIMENTO

Agora, admito aqui que fugirei do escopo da entrevista e, com isso, abusarei um pouco de alegorismo misturado com algumas situações fictícias - e propositadamente exageradas! Calma, você entenderá ao final o porquê desta que intitulo como a “parábola da verdade e dos níveis de conhecimento”:

<sup>571</sup> <https://languages.oup.com/word-of-the-year/2016/>

### PARÁBOLA DA VERDADE E DOS NÍVEIS DE CONHECIMENTO

Bom, começa assim: as verdades ficam em ilhas bem distantes que, olhadas a partir da praia, quase não aparecem no horizonte. Para chegar até uma ilha (uma verdade sobre determinado assunto), existe um imenso mar (de informações) a ser enfrentado. Algumas pessoas não sabem nadar (não sabem ler e/ou escrever) e ficam na praia apenas observando, sem ter condições (ou vontade) de enfrentar o mar (de informações) para chegar à ilha (e conhecer a verdade).

Eventualmente, outras pessoas apenas levemente molham os pés nesse mar (leem pouco, rudimentarmente), mas não se atrevem a adentrar e enfrentar o desconhecido das profundezas do mar. Outra parcela de pessoas entra um pouco mais na água, até ficar em profundidades na altura da cintura (sabem ler e escrever, funcionalmente) mas, ainda inseguras, evitam atravessar as ondas, com receio de se perderem na imensidão do mar. E cada vez menos pessoas se arriscam em profundidades que “não dão pé”.

Existe uma porção menor de pessoas que fica bem no limite onde quebram as ondas, onde ora “não dá pé” quando a onda chega, e ora dá pé quando a água da onda volta ao mar. Elas sabem nadar um pouco, não se afogam, mas não sabem nadar tranquilamente (conseguem ler e escrever bem em situações cotidianas simples). Um grupo menor ainda de pessoas sabe nadar com proficiência (sabem não somente ler e escrever bem, mas também elaborar ideias complexas e refletir) e não se afogam nesse mar (de informações).

Escassas são as quantidades de pessoas que gostam realmente de nadar (ler, escrever, pensar e não só interpretar, mas também inovar e criar novos conhecimentos), e fazem isso com maestria, se tornando atletas (pesquisadores e cientistas). Logo, para tentar chegar perto da ilha da verdade, aproveitam suas habilidades no nado, em níveis de excelência, e enfrentam ondas cada vez mais fortes, afastando-se consideravelmente da terra firme. E raros são aqueles que, como exímios nadadores, são triatletas incansáveis (gênios) que se destacam extraordinariamente, e conseguem chegar muito perto da ilha ou até mesmo pisar nela (e conhecer a verdade de perto).

Seja para chegar até a ilha ou no retorno dela, o processo de nadar (ler, escrever, estudar), enfrentar o desconhecido (pesquisar), eventualmente se perder (fazer experimentos, testes de hipóteses, repetir ensaios) é tornado útil aos demais caso os nadadores que chegaram longe consigam contar suas histórias (registrar, publicar) de como chegaram lá e o que observaram na ilha da verdade visitada. Não basta só chegar na ilha e enxergar a verdade; é preciso também voltar e saber contar pra quem não ousou se molhar. Ocorre que algumas ilhas conseguem ser mais facilmente acessadas, enquanto que outras ilhas estão muito distantes; ainda demoraremos muito tempo para alcançar essas ilhas, ou até mesmo nunca chegaremos a pisar em algumas delas.

Na busca de aproximar-se das ilhas mais distantes, algumas pessoas ficam tanto tempo na água nadando, que podem acabar se tornando “anfíbios” (aqui começa a alegoria fantasiosa, que, no caso, representa o que alguns denominam de “cientistas um pouco loucos”) que ora estão na água, ora estão na terra. A partir desse ponto, esses “anfíbios” podem começar a adquirir e a falar uma linguagem própria (extremamente científica) e estranha, que poucos em terra a entendem. Outros que ficam o tempo todo no mar, vivendo distantes e completamente alheios à vida na terra, podem até se tornar “peixes” (prossequindo na alegoria, aqui representa os “cientistas bastante loucos”), que nunca mais pisam em solo firme. Somente seus semelhantes e alguns anfíbios os entendem. Nesses dois ambientes bem diferentes, mar e terra, em que seres bastante peculiares estão vivendo, a comunicação entre eles é essencial para que a mensagem e as descrições sobre a ilha da verdade cheguem até o continente. Assim, os peixes, muitas vezes, precisarão de anfíbios especializados (jornalistas e professores) para traduzir a sua língua para quem está na terra, longe da ilha.

Moral da história: poucos são os que tentarão chegar na ilha, e menos pessoas ainda conseguirão chegar lá (e conhecer a verdade com os próprios olhos). Então se você quiser realmente conhecer a verdade na plenitude, você tem que nadar até ela para vê-la com os seus próprios olhos.

Mas é possível conhecer a verdade sem ter que nadar até a ilha? Sim, também é possível! A primeira forma é você acreditar em quem a viu (o peixe) e entender o que ele diz (isso equivale a você saber ler informações e publicações científicas de alto nível, sem ter que saber, necessariamente, como pesquisar, chegar em resultados e conclusões e, por fim, gerar novos conhecimentos). Frequentemente, isso é impossível para muitas pessoas que estão na terra. Outra forma é acreditar nos seres anfíbios que conseguiram conversar e entender os peixes que viu a ilha da verdade (isso equivale a acreditar no que os jornalistas e professores divulgam e ensinam, com base no conhecimento gerado pelos cientistas e pesquisadores). E por fim, o que é mais comum, infelizmente, é a pessoa que não sabe nadar, acreditar em histórias de pessoas que só foram lá molhar o pé no mar, ou ficaram com a água na cintura. Essas pessoas que somente se molharam um pouco, já se consideram tão boas nadadoras quanto os atletas e os triatletas que arriscaram longas distâncias e elevadas profundidades para realmente chegar nas ilhas das verdades. Agora, quem só molhou o pé e chegou no máximo até no limite onde dá pé, teria realmente uma visão tão boa assim das ilhas para poder, de forma fidedigna, ver e saber de fato a verdade real? Pois é, a limitada visão dessas pessoas, por outro lado, possui um efeito propagador de visões deturpadas justamente porque essas pessoas estão muito próximas das que ficam na terra. E por conta dessa proximidade, elas falam quase que a mesma língua e, logo, se entendem muito bem entre eles. Então, a verdade existe, mas ela não está acessível para todas pessoas na sua forma pura,

crystalina, sem distorções. Por outro lado, vários outros discursos da verdade são possíveis, até mesmo aquilo que se pretende se passar pela fiel descrição da verdade, contudo descreve algo completamente equivocado. Isto é, em outras palavras, são essas pessoas que dão volume aos fenômenos das *fakenews* e da descredibilização geral da Ciência, conforme tais discursos enviesados se materializam em movimentos como o *terraplanismo*, em *campanhas de antivacinação*, indo contra tantos avanços proporcionados pela pesquisa e conhecimento científico nas diferentes áreas da vida.

Nadar (ler, escrever, pensar) exige um esforço proporcional à distância (complexidade) a ser percorrida. Muitos não gostam de nadar e preferem ficar na praia, passando suas vidas indiferentes sobre querer conhecer as diversas ilhas das verdades. Muitas pessoas não têm interesse nem curiosidade em querer visitar tais ilhas. E, pior, possuem uma forte tendência de acreditar em várias pessoas que, inclusive, nunca chegaram nem perto das ilhas, mas que juram saber exatamente como elas são. Tal fenômeno, cada vez mais comum, é quase a mesma coisa que acreditar em um cego descrevendo algo que nunca viu. É como alguém descrever o sabor de uma comida que ela nunca comeu, com base no que ela leu ou ouviu alguém descrevendo o gosto do alimento.

### I.3.2. NÍVEIS DE CONHECIMENTO, INSTRUÇÃO E ALFABETISMO DA POPULAÇÃO BRASILEIRA

Bom, sem dar margem para tergiversar em demasia, além do limite tolerável à petulância, agora é necessário justificar o porquê de ter contado essa história fantástica. Vou apresentar uma tabela, e esses números batem bem

com a situação hipotética descrita anteriormente. Ao entender a tabela e lembrar da parábola, os números naturalmente virão à tona de imediato sempre que você quiser resgatar na memória. E é importante tê-los em mente, pois os números representam uma realidade que é de uma triste irresignação sobre a lamentável situação educacional da população no Brasil.

CATEGORIAS	GRUPOS	NÍVEIS DA ANALOGIA DA "PARÁBOLA"		NÍVEIS DE ALFABETISMO <sup>ω</sup>		NÍVEIS DE INSTRUÇÃO <sup>ϖ</sup>		NÍVEIS DE DESENVOLV. HUMANO <sup>ϗ</sup>		NÍVEIS DE PLEXIDADE <sup>Ϙ</sup>			
MAIORIA DA POPULAÇÃO (99,5%)	Analfabeto funcional	Não sabe nadar	10%	Analfabeto	8%	Sem instrução			40%	Simplexo <sup>ϙ</sup>			
		Molha o pé no mar	20%	Rudimentar	22%	Fundamental	Incompleto	33%			Rudimentar <sup>ϛ</sup>		
	Alfabetizado	Fica com água na cintura	35%	Elementar	34%	Fundamental	Completo	8%	59,5%	Duplexo <sup>Ϛ</sup>			
		Fica onde dá pé, e pega onda	25%			Intermediário	25%	Médio			Incompleto	4,5%	
		Sabe nadar bem	9,5%			Proficiente	12%	Médio			Completo	27%	Planejador/ Poeta <sup>Ϝ</sup>
								Superior			Incompleto	4%	
				Superior	Completo	16%							
MINORIA DA POPULAÇÃO (0,5%)	Excelência	<i>Atleta</i> , nada muito bem ("anfíbio")	0,5%	Proficiente	12%	Pós-graduação (Mestrado e Doutorado)/Pesquisadores		0,5%	0,5%	Multiplexo <sup>ϛ</sup>			
	Excepcional	<i>Triatleta</i> , nada como "peixe"	0,01%			Cientistas extraordinários/Gênios		0,01%	Sábio <sup>ϟ</sup>	0,01%	Oniplexo <sup>Ϝ</sup>		

<sup>ω</sup> Fonte: baseado em Ação Educativa (2018).

<sup>ϖ</sup> Fonte: baseado em IBGE (2019). De acordo com essas estatísticas do IBGE, 40% da população brasileira de 25 anos ou mais nem sequer concluíram o ensino fundamental, que representa cerca de 53,4 milhões de pessoas. A taxa ajuda a compor um cenário mais amplo no qual mais da metade dessa população (52,6%) não completou a educação básica, ou seja, não chegou a se formar no ensino médio, o que corresponde a 70,3 milhões de pessoas.

<sup>ϗ</sup> Baseado em trabalho (JUNG, 1969) de Carl Gustav Jung [1875-1961], fundador da Psicologia Analítica.

<sup>Ϙ</sup> Baseado em Albrecht (2006).

<sup>ϙ</sup> Simples personificação da força física, bruta. Possui habilidades mentais primitivas e instintivas. Ilustrado por Jung como o *Tarzan*.

<sup>Ϛ</sup> Possui iniciativa e capacidade funcional de planejamento e autonomia na execução de tarefas mentais. Ilustrado por Jung como homens românticos, poetas.

<sup>ϛ</sup> Fase do desenvolvimento em que o indivíduo torna-se "o verbo", aparecendo muitas vezes como professor ou clérigo, que pensa, reflete e ensina. Possui capacidades analíticas, reflexivas e possui tendência de replicar e difundir o conhecimento adquirido. Para este perfil, Jung usou como referência grandes oradores políticos.

<sup>Ϝ</sup> Fase superior de encarnação do "pensamento", na qual o indivíduo torna-se o mediador de uma experiência intelectual/espiritual através da qual a vida adquire novo sentido. Perfil que apresenta fortes potenciais inovadores e revolucionários. Jung cita o Gandhi como um representante e sábio guia que leva à verdade espiritual.

<sup>ϟ</sup> Pensadores "simplexos" — pessoas que, normalmente por medo e ignorância, anseiam por respostas simples, visões de mundo simples, explicações simples, opiniões simples e soluções simples. Eles podem ser supersticiosos, pensadores "mágicos", ultrarreligiosos e hostis para com outros que não se parecem com eles e não andam, falam e pensam como eles. Eles tendem a ser atraídos por figuras de líderes poderosos que lhes prometem soluções para os problemas de suas vidas sem sobrecarregar sua massa cinzenta. Nas sociedades primitivas, os pensadores "simplexos" seguem inquestionavelmente crenças e mitos antigos, contam com a tradição e o ritual para anestesiarem seus medos existenciais e condenam ou até matam outros que diferem de suas crenças e valores. Nas chamadas sociedades avançadas, eles procuram impor suas visões de mundo ou crenças religiosas a todos os outros, estando totalmente convencidos de que estão "certos". Sua hostilidade normalmente surge de um medo latente e reprimido de que possa haver várias explicações para a realidade e de que seus mundos pessoais possam desmoronar se eles começarem a considerar opções complexas. Eles são facilmente manipulados por demagogos, apelam ao patriotismo, à intolerância religiosa e ao medo. Eles querem saber o que é certo e o que é errado, quem está certo e quem está errado, quem tem as respostas certas e quem eles devem odiar, ou seja, aqueles que têm as respostas erradas.

<sup>ϟ</sup> Pensadores "duplexos" (ou "dualplexos") — pessoas que adquiriram certa sofisticação social, mas que interromperam seu desenvolvimento mental no nível do pensamento de dois valores. Pensadores duplexos tendem a dicotomizar situações, questões e ideologias em termos de distinções opostas simples: certo ou errado, bom ou mau, normal ou anormal, moral ou imoral, sucesso ou fracasso, liberal ou conservador, amigo ou inimigo, nós e eles, conosco ou contra nós. A educação formal nem sempre é a cura para esse transtorno, provavelmente porque se origina de um tipo semelhante de medo que impulsiona os pensadores "simplexos". Os pensadores "duplexos" gostam de dizer, com conhecimento de causa, coisas como: "Bem, há dois lados em cada história", sem entender que pode haver muitos "lados" para uma história em particular. Muitos redatores de notícias parecem incuravelmente viciados no padrão "duplexo" de apresentação de histórias, o que os leva a enquadrar quase todas as questões políticas em termos de conflito entre dois lados opostos. A política americana tem operado em um modelo "duplexo" de pensamento por tantas décadas, em grande parte porque existe apenas dois partidos políticos viáveis, que poucos americanos parecem ser capazes de pensar além de suas duas ideologias opostas.

<sup>Ϝ</sup> Pensadores "multiplexos" — pessoas que desenvolveram uma alta tolerância (e até mesmo uma preferência) pela ambiguidade e complexidade. Eles tendem a ver os problemas como tendo "mais de uma resposta certa". Eles pensam, reagem e expressam suas ideias com respeito e preocupação com os direitos civis conversacionais de outros. Os pensadores "multiplexos" entendem intuitiva e conscientemente que o que é verdadeiro e correto depende inteiramente de quem está admitindo tal verdade. Eles podem reconhecer outros pontos de vista como válidos para aqueles

que os defendem, até mesmo pontos de vista que contradizem os seus próprios. Eles valorizam seu próprio aprendizado e crescimento mais do que sua necessidade de estar “certo”. Eles respeitam a razão, a evidência, a honestidade e o jogo limpo, então eles tentam evitar a tentação de usar seu intelecto para influenciar os outros de maneiras desonestas. Os pensadores “multiplexos” se consideram como “trabalhos em andamento” e, conseqüentemente, consideram suas próprias opiniões como “trabalhos em andamento” – projetos de construção em miniatura que tomam forma e evoluem conforme sua aprendizagem e compreensão evoluem. Eles separam suas opiniões de seus egos e veem as opiniões como constelações meramente impessoais de ideias que organizam o que sabem em um determinado momento. Os pensadores “multiplexos” sabem como persuadir os outros conduzindo suas ideias de maneiras não agressivas e atribuem pouco valor ao confronto como um meio geral de mudar a mente dos outros. O biólogo Thomas Huxley disse: “Não é quem está certo, mas o que é certo que é o importante”.

<sup>122</sup> Pensadores “oniplexos” – pessoas que não apenas se tornaram tolerantes com a ambigüidade e complexidade, mas que parecem gostar disso. Eles apreciam o estímulo mental de perceber que os seres humanos só conhecem uma fração infinitesimal do que pode ser conhecido; eles acham a ideia estranhamente estimulante, em vez de assustadora, e ainda assim procuram entender o que podem entender. Eles reagem ao paradoxo com admiração e diversão, em vez de frustração. Eles costumam ver muito além dos limites que outros aplicam a situações, questões e problemas. Enquanto os pensadores “multiplexos” podem ser hábeis em “conectar os pontos”, os pensadores “oniplexos” tendem a notar pontos que os outros não conseguem ver, porque veem por uma lente mais ampla. Eles estão abertos, pelo menos em princípio, às ideias mais aparentemente bizarras, aos conceitos etéreos e às opções absurdas. Eles entendem que as ideias, como as coisas vivas, são formadas apenas parcialmente quando passam a existir; que elas morrem rapidamente se não forem protegidas; e que, com o tempo, as ideias se provarão ou deixarão de se provar por seus próprios méritos. Os pensadores “oniplexos” têm uma reverência pelo conhecimento, ideias e honestidade intelectual. Um dos modelos mais inspiradores para o pensamento “oniplexo” que visitou este planeta em vários séculos foi Richard Buckminster Fuller [1895-1983] – visionário, designer, arquiteto, inventor e escritor estadunidense – que disse de si mesmo: “Vivo na Terra atualmente e não sei o que sou. Sei que não sou uma categoria. Não sou uma coisa – um substantivo. Pareço ser um verbo, um processo evolutivo – uma função integral do universo.”

Retomando à consideração inicial, este é o real motivo de ter criado uma historinha boboca e absurda: poderia simplesmente ter apresentado uma tabela, cheia de números, que passariam batidos, sem a real compreensão internalização de seus significados. A invenção dessa escala coloquial e propositalmente “boba” e inusitada é intencional, é para ser marcante sobre uma realidade preocupante. Conte a história para, na verdade, fazer uma ponte com o que realmente interessa: a discrepância entre uma grande parcela da população (99,5%) que possui plena capacidade de buscar, por si mesma, as verdades a serem descobertas na vida, em contraste com uma porção ínfima (0,5%) de pessoas que, por se distanciarem tanto das massas desqualificadas, às vezes podem ser confundidas como à parte da sociedade (no caso alegórico, essas “pessoas extraordinárias”, com um nível educacional de excelência, seriam os seres distintos representados na figura dos anfíbios e dos peixes, cuja linguagem é totalmente estranha à maioria esmagadora das “pessoas comuns”). Assim, os exageros da parábola fazem parte de uma técnica para marcar pelo inusitado. Quem entende a parábola, nunca mais se esquecerá que, assim como pouca gente sabe nadar muito bem, analogamente uma diminuta quantidade de pessoas sabe ler, escrever e, sobretudo, compreender assuntos complexos.

Nesse contexto, as mudanças climáticas<sup>572</sup> pode ser considerada uma ilha ainda muito distante. E o trajeto para se chegar lá possui ondas extremamente grandes, correntezas que desviam o árduo nado, tempestades desorientadoras, miragens que enganam a visão e até mesmo “sereias” (falsos especialistas) que tentam seduzir e fazer visitar outras ilhas e, assim, desviando da ilha real. Ou seja, tentar alcançar a ilha da verdade das mudanças climáticas é reconhecer todos essas representações como

os desafios que envolvem a plena compreensão das diversificadas nuances, da complexidade dos detalhes científicos, dos conflitos de interesses envolvidos e das opiniões divergentes sobre o assunto. Enfim, esse mar, é para poucos destemidos se aventurar a nadar. Mas ele está lá, acessível a todos, basta querer, ter vontade, se dedicar de verdade e começar a treinar para conquistar o “fôlego e a musculatura” (raciocínio crítico bem preparado) imprescindíveis para realmente chegar lá. Mas, em suma, sabemos que a maioria das pessoas querem, mesmo, é sossego, simples assim! Ou seja, ficar na praia, na sombra e tomando uma água de coco gelada! Só observando as coisas de longe, vendo a vida passar... E, assim, a ignorância se perpetua, e o sabedoria não se estabelece.

### I.3.3. AUMENTO DO CONHECIMENTO = MAIOR ANSIEDADE?

Diante desse contexto alegórico, retomamos, finalmente, com uma resposta mais direta à pergunta: nem sempre o aumento do conhecimento representa maior ansiedade. Além do aspecto quantitativo, a equação que resulta na ansiedade envolve variáveis relativas a diferentes capacidades intelectuais e psicológicas do indivíduo:

1. **Qualidade do conhecimento:** relativo à habilidade de coletar informações e capacidade de distinguir fontes confiáveis de não confiáveis;
2. **Diversidade e complexidade do conhecimento:** capacidade de analisar complexidades divergentes, conflitantes, analisar as questões a partir de perspectivas múltiplas;
3. **Impermanência e atualização do conhecimento:** capacidade de reconhecer que, para muitas questões, não existem “verdades” (teorias, hipóteses) absolutas e eternas; o conhecimento está em constante

<sup>572</sup> O tema das mudanças climáticas mistura conhecimento científico de praticamente todas as grandes áreas: Ciências Exatas e da Terra (Climatologia, Meteorologia, Geociências, Geologia, Oceanografia, Matemática, Estatística, Computação, Química, Física, Astronomia etc.); Ciências Biológicas (Biologia, Ecologia etc.); Ciências Sociais Aplicadas (Economia, Direito, Comunicação, Jornalismo etc.); Ciências Humanas

(Geografia, Filosofia, Sociologia, História, Arqueologia, Psicologia, Educação, Ciência Política; e até mesmo Artes). Qual ser humano é capaz de entender em profundidade cada uma dessas áreas e, ainda, ter a capacidade de estabelecer inter-relações válidas entre elas?

crescimento e aperfeiçoamento, ficando sujeito a revisões e alterações de entendimentos conforme o avanço da Ciência, da realização de novas pesquisas, observações e investigações.

4. **Desconfiança e ceticismo:** capacidade de desconfiar de tudo (com parcimônia, sem paranoias), admitindo que, para temas controversos e tendenciosos, é necessário redobrar a atenção sobre informações distorcidas, parciais, manipuladas e/ou contaminadas com diversos interesses embutidos, muitas vezes sutilmente ocultos, mas impregnados com ideologias subjacentes aos discursos propagados e respectivas ideias sendo defendidas.
5. **Resistência e resiliência à adversidade/contrariedade:** capacidade psicológica de entender e enfrentar, sem sofrer, fatos e assuntos adversos da vida, que podem, inclusive, contrariar vontades, concepções e convicções individuais.

Primeiro, consideremos o caso mais extremo (e menos comum): uma pessoa com acesso a enorme quantidade de informações; que sabe buscar opiniões e posições diversas, contraditórias; que consegue analisar e compreender assuntos complexos e altamente polarizados; que reconhece as limitações da Ciência e do conhecimento, este sujeito a mudanças de concepções; que desconfia e consegue distinguir possíveis interesses (políticos, econômicos) misturados com conceitos técnicos; então essa pessoa tende a se afetar emocional e psicologicamente menos com determinado problema. Logo, tal pessoa não possui tanta propensão para desenvolver eco-ansiedade em níveis preocupantes. Nessa primeira classe de pessoas, talvez se encaixe somente a minoria (0,5%) da população brasileira.

Agora, vamos considerar a situação oposta, relativa ao perfil de pessoas enquadradas na maioria (99,5%) da população brasileira, correspondente à situação mais típica, uma pessoa de perfil eco-ansiosa (em diferentes níveis). Por exemplo, uma pessoa que tem acesso a muito

conhecimento sobre mudanças climáticas; se o conhecimento for limitado a poucas concepções/argumentações/opiniões (por exemplo a visão “aquecimentista/alarmista”), ou seja, se for pouco diverso e bastante enviesado (adota somente o lado trágico da questão, do colapso climático); se a pessoa não possui capacidade de desconfiança e ceticismo; e se ela não conseguir perceber interesses políticos e econômicos associados a determinadas soluções; então, com as variáveis nesses condições, essa pessoa tende a ser mais vulnerável à eco-ansiedade ou ansiedade climática. Além disso, personalidades com tendências obsessivas, de fanatismo, entre outras vulnerabilidades psicológicas, podem ser fatores determinantes e potencializadores de eco-ansiedade.

Dito de outra forma: não basta simplesmente produzir, disseminar e divulgar cada vez maior quantidade de informações sobre as mudanças climáticas. Se os “novos” conteúdos forem somente formatos novos das mesmas antigas ideias, então o aspecto da diversidade fica seriamente prejudicado. Produzir mais conteúdo alarmista, portanto, possui sim expressiva contribuição na geração de eco-ansiedade na maioria das pessoas. Nesse caso, é razoável concordar com sua suspeita de que “quanto mais conhecimento do assunto, maior a ansiedade”. Por outro lado, quanto mais diversificado e complexo for o conhecimento, quanto maior a riqueza de informações, maiores são as chances de as pessoas entrarem em contato com elementos diferentes, inéditos, capazes de induzir reflexões e ponderações. Diante de novas informações, se a pessoa estiver mentalmente aberta, com disposição de refletir e se tiver capacidade intelectual compatível, então ela tem a chance de reavaliar e reconsiderar posicionamentos, ou mesmo reforçar e criar maior convocação de sua opinião previamente formada.

#### I.4. PERGUNTA 03

**Vocês citam um estudo australiano (GOW, 2010), no qual se encontrou que “os pacientes jovens revelam maior angústia geral entre os grupos etários, diante da ênfase no ensino de temas de mudança climática no currículo escolar”. Existe alguma cautela especial necessária à educação ambiental no ensino básico?**

Anteriormente, discutimos em profundidade que *crianças e jovens são mais vulneráveis a desencadear sintomas de eco-ansiedade*<sup>573</sup>, justamente por conta da sua capacidade mental/psicológica/intelectual ainda em formação, cujo

processo de desenvolvimento costuma se completar próximo dos 20 anos de idade.

A temática climática é um assunto extremamente complexo, até mesmo para muitos adultos entenderem

<sup>573</sup> Cf. item “1.2.7.6. Jovens: os mais vulneráveis ao alarmismo”(p. 67).

todos os fenômenos físicos, as inúmeras conexões com interesses econômicos e políticos, diferentes perspectivas para soluções etc. Tentar ensinar aos jovens tal assunto nos mínimos detalhes, é simplesmente impraticável. Logo, na prática, o que é repassado no ensino básico (educação infantil, ensino fundamental e ensino médio) costuma ser algo bem “básico” mesmo. Algo do gênero: “existe um problema climático sério (o aquecimento global, o derretimento das geleiras e o aumento do nível dos oceanos) ocasionado pelas emissões de gases oriundos da queima de combustíveis fósseis e precisamos reduzir essas atividades poluidoras”. Logo, os conceitos “básicos” tendem a assumir uma visão das mudanças climática com o caráter de um “grande problema global”. Parece não existir um esforço em realmente explicar como o clima funciona e quais os conceitos e fenômenos físicos e químicos importantes envolvidos. No final das contas, invés de tentar ensinar um conteúdo técnico e racional, geralmente mais complicado de ser compreendido, parece ser mais fácil apelar para o lado emocional, mais visceral e fácil de ser tocado e sentido. Assim, a consequência é ter crianças e jovens chocados, apavorados.

Despertar a conscientização ambiental e climática já se consolidou como uma diretriz fundamental e indispensável do currículo escolar. Mas como tornar o ensino do tema climático sem despertar o efeito colateral da eco-ansiedade é um desafio que carece de solução. Conforme antes dito<sup>574</sup>, “para evitar ou acabar com o efeito colateral, é necessário interromper o motivo causador, ou seja, a mídia necessitaria rever sua conduta e moderar o discurso sensacionalista”. Da mesma forma que isso se aplica aos setores midiáticos, também se aplica aos setores educacionais. Simplesmente não é possível deixar de falar sobre o tema nas escolas. Saber dosar o teor alarmista, indutor de preocupação, que é a grande questão.

A “cautela especial necessária à educação ambiental no ensino básico” é justamente essa: tratar da questão sem causar um nível de preocupação exagerado. Hoje, é difícil conjecturar: qual o nível ideal da “dose alarmista” ou limite máximo permitido? Acredito que ainda não existam estudos do tipo “dose-resposta” quantificando essa relação – igual costumam fazer com remédios para se definir a posologia. Mas uma coisa é certa: sabemos que, hoje, a dose do alarmismo climático está além do nível que seria equivalente à “dose máxima recomendada por dia” de um remédio. Logo, os efeitos colaterais psicológicos (sintomas de eco-ansiedade e doenças ambientais) têm sido notados em parcelas significativas de jovens e crianças em diversas

nações do mundo. Em medicações, projetadas para proporcionar benefícios às pessoas, sabemos que o mal uso, como a superdosagem (ou *overdose*), pode causar intoxicações, entre outros efeitos colaterais diversos. Analogamente, no caso do alarmismo climático, a intoxicação mental/psicológica tem sido um preocupante efeito deletério constatado atualmente.

Para se começar a buscar entender o grau de influência do alarmismo climático no ensino básico, sugere-se como um caminho possível (partindo do nível macro para o micro):

- Rastrear e identificar quais são as diretrizes curriculares nacionais e estaduais sobre as mudanças climáticas;
- Levantar os recursos/materiais didáticos usados pelos professores no ensino sobre o tema: cartilhas, guias, livros, apostilas, documentos diversos, entre outros materiais que são pesquisados na *Internet* (incluindo conteúdos de vídeos);
- Analisar o conteúdo dos materiais levantados, buscando identificar a presença e quantidade de palavras chocantes (*desastre, colapso, emergência climática* etc.), tipicamente usadas como estratégia sensacionalista/alarmista;
- Realizar estudos, pesquisas e entrevistas com professores e estudantes, nos diferentes níveis, quantificando o nível de conhecimento de ambos (professores e alunos) sobre o tema, buscando identificar falhas no ensino e/ou deficiências no aprendizado dos alunos;
- Conduzir levantamento da percepção dos riscos às ameaças climáticas de professores e alunos sobre o tema, buscando identificar se o nível entre eles é compatível<sup>575</sup>.

Enfim, para responder melhor sua pergunta, parece existir, ainda, um enorme campo de pesquisas a ser conduzidas para elucidar melhor tantos fatores envolvidos. Como pontapé inicial de um tipo de trabalho que merece significativo esforço (que aqui não é possível conduzir), realizou-se breve consulta na *Internet* referências sobre mudanças climáticas, especificamente voltadas ao ensino básico. A seguir, listamos uma pequena amostra desse tipo de conteúdo pesquisado:

- “**Mudanças Climáticas: Ensinos Fundamental e Médio**” (OLIVEIRA; SILVA; HENRIQUES, 2009), publicação do MEC;
- “**Temas atuais em mudanças climáticas: para os ensinos fundamental e médio**” (JACOBI et al., 2015), publicação do IEE/USP; e
- “**Mudanças climáticas e a sociedade**” (AMBRIZZI et al., 2021), publicação do IAG/USP.

<sup>574</sup>Cf. item “1.2.11.2. Papel e conduta da mídia” (p. 101).

<sup>575</sup> Por exemplo, se o risco percebido dos professores forem considerados moderados, nada exagerados, e dos alunos forem exageradamente elevados, pode ser indicio de que esse alarmismo existente nos estudantes sejam decorrentes de conteúdos

acessados por eles fora do ambiente escolar, ou seja, quando estão lendo notícias, assistindo TV, navegando na *Internet*, nas mídias sociais etc.

Além desses documentos, cabe citar algumas referências que podem auxiliar no início de uma pesquisa mais direcionada:

- **Silva (2007) e Reis, Silva e Figueredo (2015)**: abordam o fenômeno das mudanças climáticas como um tema que envolve controvérsias e complexidades inerentes, e como esses aspectos se articulam e podem ser incorporados no ensino das Ciências e da Física;
- **Rumenos, Silva e Cavalari (2017)**: ao analisar os significados atribuídos ao tema “mudanças climáticas” presentes em 19 livros didáticos de Ciências do ensino fundamental II, foram poucas as obras que alguns abordaram certos aspectos das controvérsias e incertezas científicas sobre o assunto. Concluíram que esses materiais poderiam considerar aspectos que apontem para a superação de uma visão linear e simplificadora dos fenômenos climáticos. Os autores entenderam “ser necessário que esses materiais questionem as abordagens exclusivamente voltadas para uma visão determinista da Ciência” e que “a carência de discussões que apontem para a complexidade dos fenômenos climáticos nos encaminha para uma consideração sobre os livros didáticos: o tema Mudanças Climáticas é tratado com ênfase em seus aspectos conceituais e ainda com pouca atenção ao processo da construção do conhecimento e às considerações que envolvem articulações entre Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente”.
- **Silva, Cavalari e Muenchen (2015)**: analisaram trabalhos científicos publicados em evento de Pesquisa em Ensino de Física e constataram que existem poucos trabalhos voltados para a discussão e a articulação da temática ambiental e o processo educativo. A partir de análise

qualitativa dos trabalhos selecionados, verificaram que os pesquisadores da área ambiental apresentam, em sua maioria, uma perspectiva crítica na abordagem desse tema. Verificou-se claras menções sobre as complexidades, as controvérsias e as incertezas relacionadas aos problemas ambientais. No entanto, detalhes e aprofundamentos sobre a complexidade dos problemas ambientais não constituem um elemento central de atenção nos trabalhos mencionados. Estes apresentam considerações que apenas tangenciam a complexidade dos fenômenos socioambientais. Em outras palavras, não há nos trabalhos analisados uma reflexão mais profunda sobre a compreensão das questões socioambientais na perspectiva do pensamento complexo.

Os alarmismos ecológico e climático só conseguem plantar e fazer brotar a “sementinha do medo” no campo fértil da ignorância. É na falta de educação de qualidade, na ausência do conhecimento, de habilidades intelectuais e de reflexão crítica que prospera e erva daninha da emoção, da preocupação e das doenças ambientais decorrentes.

Somente com uma robusta “floresta de conhecimentos” para se proteger e evitar o florescimento de “pragas invasoras nocivas” (alarmismo exacerbado), que afligem mentes incautas e intelectualmente despreparadas. A educação ambiental, devidamente ponderada, se torna, portanto, a solução mais eficaz contra a eco-ansiedade.

## I.5. PERGUNTA 04

**No artigo “Evolução (2004-2017) do interesse mundial pelas mudanças climáticas e aquecimento global: influência da ciência, mídia, política, economia e controvérsias”, de 2017, vocês argumentam que o tema das mudanças climáticas estaria entrando em uma fase de “pós-problema” no ciclo de problematização. Será que observamos agora mais um pico de atenção, motivado pela nova onda de ativismo liderada por figuras como Greta Thunberg, e eventos como os incêndios na Amazônia?**

Discorremos anteriormente acerca da *concorrência e prevalência dos problemas*<sup>576</sup>, no qual um problema costuma ser substituído por outro com maior evidência, este geralmente representando um tema de maior preocupação para as pessoas. Vimos também que, na concorrência da atenção, alguns problemas prevalecem sobre outros, sendo que *questões econômicas* costumam “roubar” (desviar o foco) da atenção dada a *questões ambientais*<sup>577</sup>.

Quando da elaboração do citado artigo (Oliveira, Carneiro e Vecchia, 2017) na pergunta, ele considerava um período que compreendia de 2004 a mai/2017. Naquele momento, a fotografia da situação realmente indicava somente um grande “ciclo de problematização”, com um grande pico no período de 2007 a 2009. Em seguida, constatou-se que o tema das mudanças climáticas/aquecimento global foi sendo substituído pelo interesse por questões econômicas prioritárias relativas à grande crise econômica, cujo

<sup>576</sup> Cf. item “1.2.2.3. Concorrência e prevalência dos problemas” (p. 17).

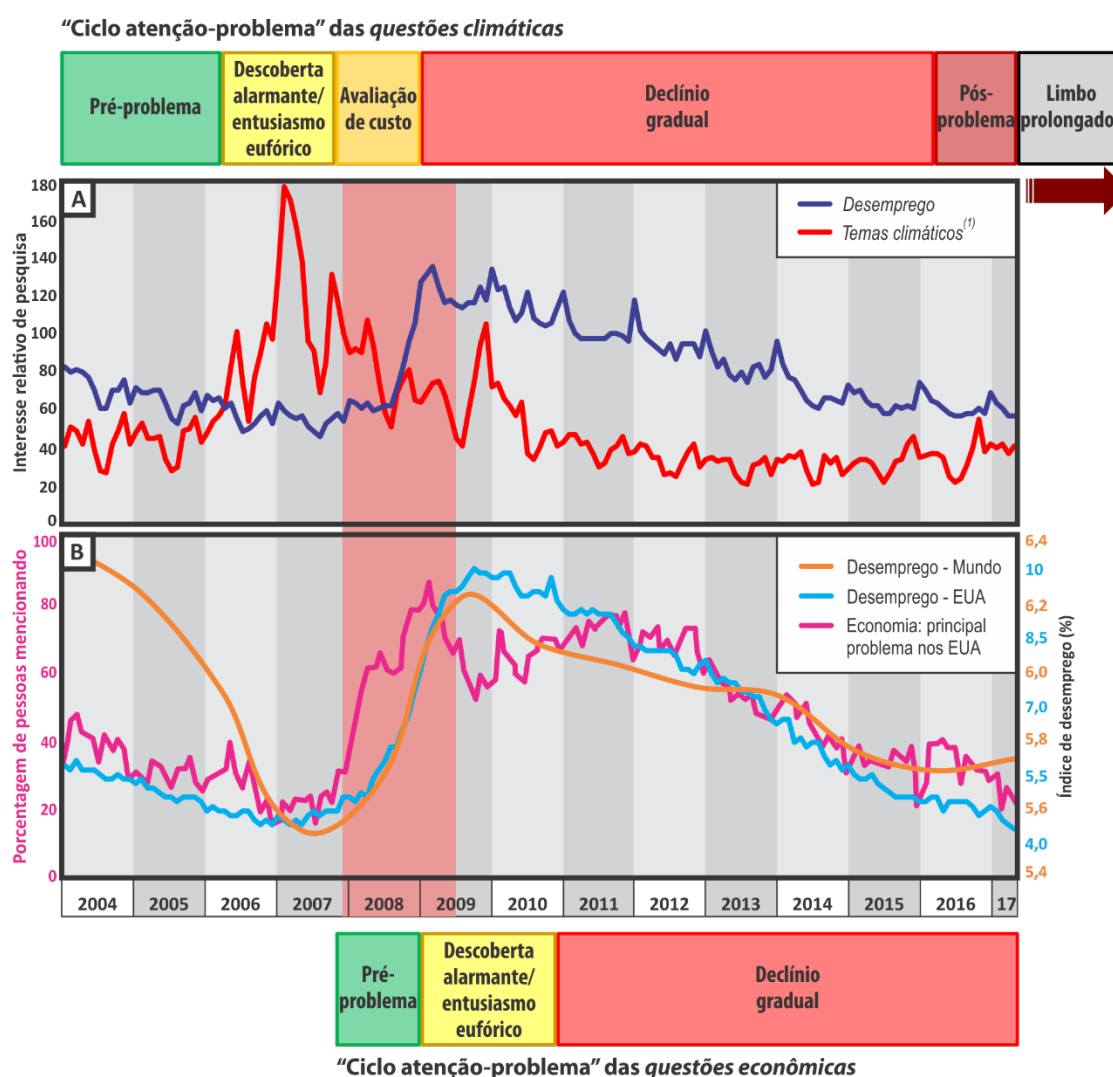
<sup>577</sup> Cf. demonstrado na Figura 221 (p. 18) e corpo do texto correspondente.



aumento do desemprego decorrente foi observado a partir de 2008, atingindo o ápice em 2009.

Diante do quadro geral analisado à época, em apresentação<sup>578</sup> do referido artigo nosso, chegamos a identificar (conforme réplica adaptada e apresentada aqui na **Figura 244**) uma fase de “declínio gradual” da atenção pública direcionada à temática climática – fase em que o problema econômico passou a exercer uma reivindicação mais nova, mais poderosa e prioritária sobre a atenção do público. Também chegamos a indicar a fase de “pós-problema” – fase caracterizada pela substituição de temas em evidência no centro da preocupação pública. Por fim,

chegamos a conjecturar que, a partir de 2017, um movimento da temática climática para um “limbo prolongado” (esquecimento provisório ou definitivo). Então, até o ano de 2017, não havia nenhum indício de reversão expressiva das tendências dos termos e indicadores que estavam sendo analisadas na ocasião. Foi somente um ano depois que surgiu um fator capaz de modificar as tendências: o *Relatório SR15 do IPCC*<sup>579</sup>, publicado em out/2018. No mesmo ano desse evento, vieram à tona também os ativismos da jovem sueca Greta Thunberg e do grupo *Extinction Rebellion*, estabelecido no Reino Unido.



**Figura 244** – “Ciclos de atenção-problema”: (A) das *questões climáticas*; e (B) das *questões econômicas*. Adaptado dos materiais indicados na nota de rodapé nº 578, bem como em Oliveira, Carneiro e Vecchia (2017).

<sup>578</sup> Disponível em:

<https://www.eventoanap.org.br/eventos/paginas/evento/8/pagina/anais>

Arquivo de apresentação (PPTX):

[https://www.eventoanap.org.br/data/inscricoes/2929/apresentacao8\\_insc2929\\_tra\\_b590.pptx](https://www.eventoanap.org.br/data/inscricoes/2929/apresentacao8_insc2929_tra_b590.pptx)

Vídeo explicativo no *Youtube*: <https://youtu.be/KOUv2VhNpIk>

<sup>579</sup> Cf. item “1.2.5.3. Os papéis da ciência e da mídia” (p. 36).

Após essa breve retrospectiva dos resultados anteriores (limitados até 2017), cabe fazer uma atualização e ampliação da análise. Assim, elaborou-se a **Figura 245**, cujas figuras **(C)**, **(D)** e **(E)** apresentam séries obtidas no *Google Trends* para os termos: *COVID-19*; *mudanças climáticas*; *Al Gore*; *Greta Thunberg*; *queimadas na Amazônia*; *greve climática*; e *Extinction Rebellion*. Lembrando que a escala do *Google Trends* é adimensional, ou seja, é relativa ao termo mais procurado. No caso, *COVID-19* teve o maior volume de buscas entre todas as séries, tendo sido atribuído o valor “100” ao maior pico da respectiva curva (ocorrido em abr/2020). Considerando a distribuição irregular do interesse para os diferentes temas, para complementar a análise, também considerou-se a área correspondente à parte inferior da curva de cada termo pesquisado. Logo, também atribuiu-se o valor “100” à área da curva da *COVID-19*. Desse modo, os picos e áreas dos termos restantes indicam uma proporção percentual em relação ao tamanho do pico e área da *COVID-19*.

Explicado o significado geral dos valores, inicia-se a análise específica do gráfico **(C)** da **Figura 245**: nele, nota-se que, praticamente, somente a curva/área do termo *COVID-19* ficou visível sob a escala vertical que varia de 0 a 100%. Próximo ao eixo horizontal, é quase imperceptível notar as demais curvas. Portanto, foi realizada uma ampliação da parte inferior do gráfico **(C)**, gerando, assim, o gráfico **(D)**, com escala que varia de 0 a 2,5% (da importância relativa ao *COVID-19*). Nesse representação, já é possível notar: a curva das *mudanças climáticas*, com maior pico no início de 2017 (no valor de 2,2%), e área total de 0,08%; a curva do *Al Gore* (pico no final de 2007, valor = 0,75%; e área = 0,008%); e, por fim, a curva de *Greta Thunberg*, que apresentou um pico (valor = 2,5%) bem evidente entre meados de 2019 a início de 2020. Apesar de o pico do interesse da *Greta* ser 3 vezes superior ao pico de *Al Gore*, a área de sua curva é metade da área da curva do *Al Gore*. Denota-se que a evidência da *Greta* foi mais pontual e contundente, porém, menos persistente que a visibilidade do *Al Gore*, que reteve maior atenção acumulada ao longo do período total.

Foi necessária nova ampliação no gráfico **(D)** da **Figura 245** para gerar o gráfico **(E)**, com escala variando de 0 a 0,7% (da importância relativa ao *COVID-19*). Assim, ficaram visíveis os comportamentos dos seguintes termos: *queimadas na*

*Amazônia* (pico = 0,27% em ago/2019; área = 0,0001%); *greve climática* (pico = 0,67% em set/2019; área = 0,0006%); e *Extinction Rebellion* (pico = 0,3% em out/2019; área = 0,0003%).

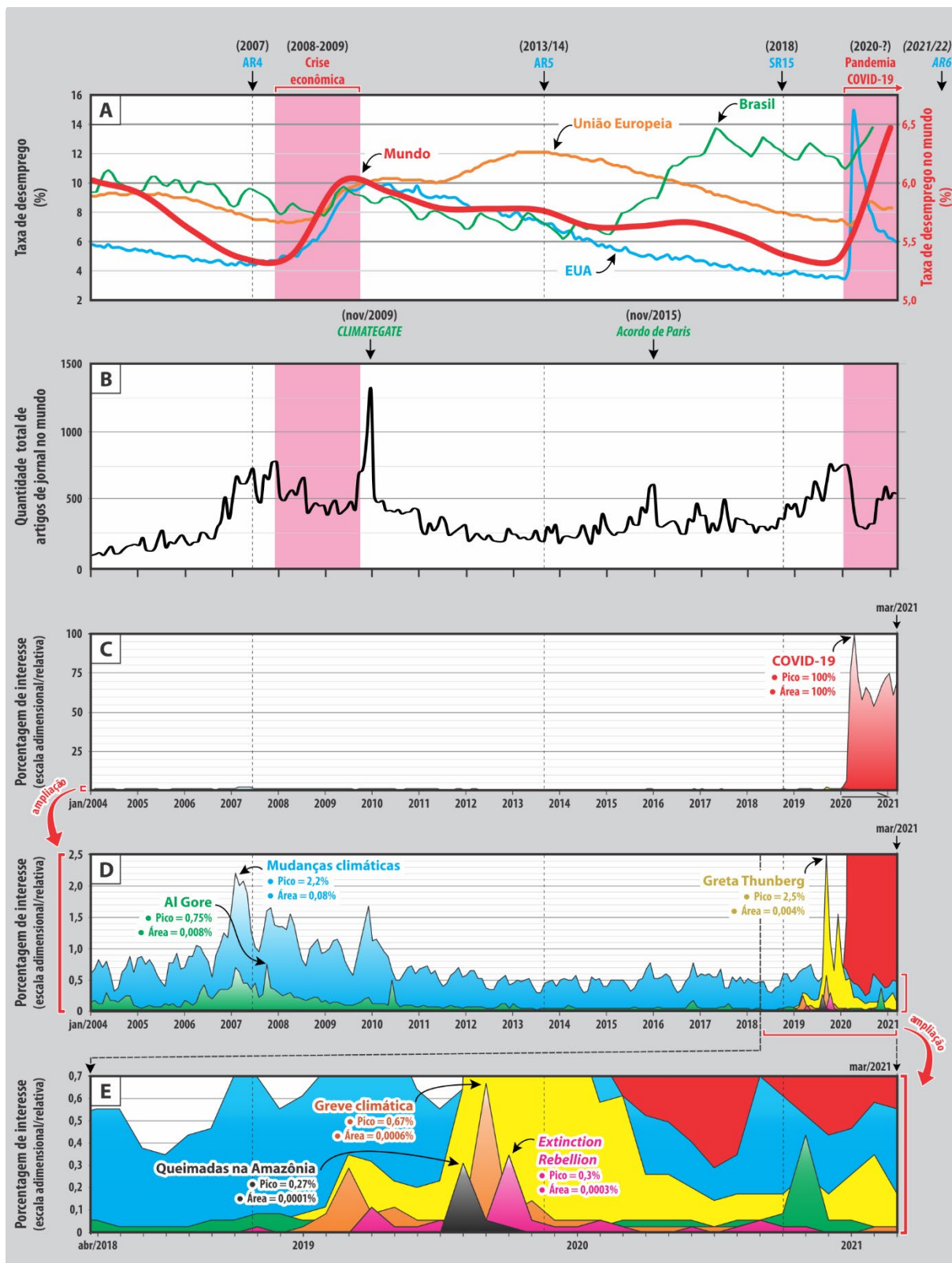
De modo geral, até aqui é possível uma primeira inferência: a pandemia da *COVID-19*, uma Emergência de Saúde Pública de Preocupação Internacional, tem representado um fator de elevado poder de atrair a atenção pública. De fato, todas as pessoas reconhecem a magnitude do risco e perigo desse problema pandêmico à saúde, as graves consequências associadas a ela, incluindo a relativa chance de causar óbito, senão outras diversas sequelas graves para os infectados curados, além do sofrimento no tratamento e recuperação da doença. Enfim, diante da atual crise sanitária mundial, os demais termos/temas analisados tiveram, comparativamente, níveis de interesse pífios, abaixo dos 2,5%. Tal fato é óbvio: na atenção das pessoas, é razoável imaginar uma elevada prevalência de importância sobre uma doença nova, com sérias repercussões na saúde.

Agora voltando o olhar para o gráfico **(B)** da **Figura 245**, no qual é exibida uma curva da quantidade de artigos de jornal publicados em todo mundo. Nessa curva, os picos evidentes são relativos: 2007 – ao Relatório AR4 do IPCC; 2008 – ao evento conhecido como *Climategate*<sup>580</sup>; 2015 – ao *Acordo de Paris*<sup>581</sup>; e 2018-2020 – *Relatório SR15* do IPCC. As áreas em tons vermelho claro do gráfico **(B)** indicam: 2008-2008 – *Crise econômica mundial*; e 2020-(?) – *Pandemia da COVID-19*, fatos que remetem aos dados indicados no gráfico **(A)** da referida figura.

Por fim, o gráfico **(A)** da figura em questão apresenta a evolução temporal das taxas de desemprego do mundo, dos EUA, da União Europeia e do Brasil. Analisando em conjunto os gráficos **(A)** e **(B)**, conclui-se que: elevadas taxas de desemprego fazem cair o nível de publicações sobre mudanças climáticas. Em dois momentos específicos é nítida tal relação inversamente proporcional: em 2008-2009, com o aumento do desemprego decorrente da crise econômica; e a partir de 2020, com a rápida ascensão do desemprego, efeito econômico negativo da pandemia da *COVID-19*. Diante de tal cenário, é fácil de reconhecer que, na escala de prevalência de problemas mundiais, as questões econômicas e sanitárias assumem elevados níveis de importância, preponderando em relação às questões climáticas.

<sup>580</sup> Cf. nota de rodapé nº 420.

<sup>581</sup> Cf. nota de rodapé nº 414.



**Figura 245** – Nível de atenção dada para questões econômicas e questões climáticas, detalhando a evolução temporal (2004-mar/2021) de: **(A)** indicadores econômicos [nível desemprego no mundo (valores correspondentes à escala à direita); níveis de desemprego nos EUA, União Europeia e Brasil (valores correspondentes à escala à esquerda)]; **(B)** nível de publicação midiática (quantidade de artigos de jornais publicados); e **(C)**, **(D)** e **(E)** termos pesquisados no Google Trends (COVID-19; mudanças climáticas; AI Gore; Greta Thunberg; queimadas na Amazônia; greve climática; e Extinction Rebellion). Fonte: (A) Desemprego

mundial: World Bank (2021), Desemprego nos EUA e União Europeia: OECD (2021); Desemprego no Brasil: GARCIA (2020); (B) Adaptado da Figura 228A (p. 515); (C), (D) e (E) - elaboração própria, com base em consultas realizadas no *Google Trends*<sup>582</sup>.

Corroborando o que já foi dito antes, nesses gráficos também é possível notar que os *ciclos midiáticos acompanham as publicações de relatórios do IPCC*<sup>583</sup>. Isso é especialmente percebido nos relatórios do IPCC publicados em 2007 e 2018, períodos antecedentes às grandes crises (econômica e sanitária, respectivamente) que apresentaram as menores taxas de desemprego. Note que, em 2013-2014 também houve uma publicação do relatório AR5 do IPCC. No entanto, as taxas de desemprego na União Europeia estavam no pico máximo da série histórica apresentada e, conseqüentemente, o nível de publicação de artigos jornalísticos não apresentou alterações consideráveis. Assim como ocorrido próximo ao relatório de 2007 do IPCC – no qual um conjunto sequencial de eventos de diversos setores (acadêmicos, políticos, midiáticos, artísticos etc.) confluíram e contribuíram para o incremento das publicações de jornais e aumento do interesse pelo tema climático – houve, a partir de 2018, algo parecido: quebrando o comportamento que antes havia sido percebido como uma fase de “pós-problema”, o *Relatório SR15* do IPCC inaugurou um novo pico de atenção para as mudanças climáticas. O número de notícias diárias sobre mudanças climáticas [gráfico (B)] estava em uma tendência ascendente desde 2018, atingindo um pico de 750 artigos em 2020. Por conta da COVID-19, houve uma a abrupta queda na quantidade de notícias climáticas, atingindo níveis pré-2018, em torno de 250 notícias por dia. Mesmo com a pandemia ainda em alta evidência, hoje (mar/2021) o número de artigos jornalísticos já recuperou parte do quantitativo perdido, representando atualmente 500 artigos publicados por dia, montante relativamente alto quando comparado ao restante da série.

O que será daqui até a publicação do próximo relatório do IPCC, o AR6 (com previsão de ser concluído em 2021-2022), dependerá de como as questões econômicas caminharão, principalmente quanto ao ritmo de recuperação econômica dos efeitos colaterais ocasionados pela pandemia da COVID-19. Apenas com base na tendência das curvas de desemprego (que costumam apresentar uma resposta “mais lenta”), supõe-se que a atenção dada às questões climáticas não terão tanta importância como observado em 2007-2009 e

2018-2020. Acredita-se que questões econômicas estarão, na concorrência dos problemas mundiais, protagonizando a liderança na lista de prioridades das pessoas e dos governos em todo mundo. Assim, por um tempo (5 anos, talvez), as mudanças climáticas figurem como coadjuvantes, aguardando momentos mais favoráveis (períodos de baixas taxas de desemprego) para eclodir em uma nova fase de atenção.

Enfim, após a publicação do SR15, a intensa ação midiática desencadeou e potencializou uma de sucessão de novos atores e fatores (*Greta Thunberg, greve climática, Extinction Rebellion*) no processo de divulgação do tema em voga. Jovens representantes aproveitaram o enorme poder das redes sociais e se tornaram conhecidos mundialmente por mobilizações expressivas. Pela cronologia dos fatos, é difícil estabelecer, com precisão e segurança, qual foi a contribuição relativa exata dos elementos aqui considerados pelos termos *Greta Thunberg, queimadas na Amazônia, greve climática, Extinction Rebellion*. O que se pode interpretar é que a ativista Greta foi a pessoa que primeiro entrou em elevada evidência e que atingiu elevado nível de interesse (inclusive, com o pico de 2,5%, ultrapassou o maior pico das mudanças climáticas em 2007, com 2,2%). Os demais termos apresentaram, relativamente, de 4 a 10 vezes menos importância que o atribuído Greta.

Resgatando um pouco sobre os feitos de Greta, infere-se que o início do ativismo climático juvenil motivado pela Greta não aparece nos gráficos aqui considerados. A jornada da jovem estudante começou pouco antes mesmo da publicação, em out/2018, do Relatório SR15 do IPCC. Em mai/2018, aos 15 anos, Greta havia vencido um concurso de redação sobre mudança climática em um jornal local. Três meses depois, em ago/2018, ela começou a protestar em frente ao prédio do Parlamento sueco, prometendo continuar até que o governo sueco cumprisse a meta de emissões de carbono acordada pelos líderes mundiais em Paris, em 2015. Ela segurava uma placa que dizia “Greve Escolar pelo Clima” e começou a faltar regularmente às aulas para fazer greve às sextas-feiras, pedindo aos alunos de todo o mundo que se juntassem a ela. Seus protestos “viralizaram” nas redes sociais e, à medida que o apoio à sua causa crescia, outras greves começaram ao redor do

<sup>582</sup> Parâmetros da pesquisa: termos pesquisados = “*Coronavirus disease 2019*(Disease)”, “*Climate change*(topic)”, “*Al Gore*(Former Vice Presidente of USA)”, *Greta Thunberg*(Activist)”, “*Amazon rainforest fire*(search item) + *Fire in amazon*(search item)”, “*School strike for climate*(topic)”, “*Extinction Rebellion*(topic)”; Período = 2004-mar/2021; Abrangência = Mundo todo; Categoria = Todas; Base de dados = Buscas na *Internet*.

<sup>583</sup> Cf. item “1.2.4.3. Os ciclos e fases do tópico “mudanças climáticas”” (p. 29)

mundo, espalhando-se com a *hashtag* #FridaysForFuture (BBC NEWS, 2020). Apenas um ano depois da greve climática solitária de Greta, o movimento #FridaysForFuture logo se espalhou pelo mundo, com um total de 6 milhões de pessoas participando de 4.500 greves em 150 países – possivelmente o maior protesto climático da história (MORTON, 2020).

### 1.5.1. GRETA THUNBERG

É relevante aqui registrar, com mais detalhes, um histórico da vida de Greta Thunberg. Com base em uma entrevista (BBC, 2019), a seguir reproduz-se alguns trechos:

(...) Greta Thunberg, uma jovem sueca de 16 anos, deu início a um movimento internacional de greves de estudantes contra as mudanças climáticas – iniciativa que rendeu a ela a indicação ao prêmio Nobel da Paz. A adolescente faltava às aulas todas as sextas-feiras, desde ago/2018, e se sentava em frente ao Parlamento sueco, em Estocolmo, para exigir medidas concretas dos políticos contra o aquecimento global. O ato, inicialmente solitário, inspirou jovens de todo o mundo a aderirem ao movimento, que ficou conhecido como “Fridays For Future” – e culminou em uma greve escolar global no dia 15/março/2019, quando milhares de estudantes foram às ruas para protestar, inclusive no Brasil.

(...)

Thunberg conta que ouviu falar pela primeira vez em mudança climática na escola, quando tinha cerca de oito anos, e seus professores mostraram fotos de ursos polares famintos, florestas desmatadas e plásticos nos oceanos.

“Quando eu era pequena, tinha planos de ser várias coisas, de atriz a cientista. Até que meus professores me falaram na escola sobre a mudança climática. Isso abriu meus olhos. Fiquei muito impressionada”. Quando tinha 11 anos, ela sofreu uma forte depressão. “Parei de ir à escola, parei de falar, porque estava muito triste. Aquilo me deixou muito preocupada. Teve muito a ver com a crise climática e ecológica. Achava que havia algo muito errado e que nada estava sendo feito, que nada fazia sentido.”

Depois de perceber que poderia fazer a diferença, prometeu a si mesma que “iria fazer algo de bom com a sua vida”. “Então, eu senti no chão do lado de fora do Parlamento sueco e decidi que não iria à escola. No primeiro dia, eu fiquei lá sozinha. No segundo dia, outras pessoas começaram a se juntar a mim”. “Por que devemos ir para a escola se não há futuro? E por que devemos aprender sobre fatos, se os fatos mais importantes não importam?”, questionou Greta. [BBC, 2019, não paginado (online)].

Thunberg e sua mãe disseram que assistir a vídeos sobre lixo plástico, ursos polares e mudanças climáticas contribuiu para sua depressão e transtorno alimentar. “Então, quando eu tinha onze anos, fiquei doente. Eu caí em depressão. Parei de falar e parei de comer. Em dois meses, perdi cerca de dez quilos de peso. Mais tarde, fui diagnosticado com síndrome de Asperger, TOC [transtorno obsessivo-compulsivo] e mutismo seletivo” (SHELLENBERGER, 2020).

Pelos relatos anteriores, percebe-se que a Greta foi uma “vítima” de eco-ansiedade ainda quando criança, aos 8 anos de idade, em 2010. Este ano corresponde exatamente ao pico de eco-ansiedade iniciado em 2010<sup>584</sup>. Em 2018, sua eco-ansiedade antes *não adaptativa* (incapacitante) foi traduzida para um ativismo climático com vistas à mudança de comportamentos. No entanto, a sua elevada visibilidade midiática e popularidade entre os jovens acabou contribuindo com o surgimento de uma segunda onda de eco-ansiedade, iniciada em 2018<sup>585</sup>.

Claro que são louváveis os esforços e atitudes da jovem Greta por buscar lutar por suas ideias e convicções. Mas, como um efeito colateral indesejado, a simpatia despertada pela Greta certamente provocou um enorme espírito de coletividade juvenil no mundo todo. Ainda que uma boa parte desses jovens possam ter “vestido a camisa” da luta climática e assumido uma postura de ativismo, uma outra parte significativa de jovens passou a sofrer com os efeitos da eco-ansiedade *não adaptativa*. Não era essa a intenção inicial de Greta, presume-se. O propósito fundamental dela foi de, ao difundir a preocupação e o medo sobre as mudanças climáticas, mobilizar mais pessoas (no caso os jovens foram o público-alvo mais cativado e sensibilizado) para agregar forças no ativismo e, assim, ganhar notoriedade expressiva na cobrança de ações pelos tomadores de decisão. No entanto, Greta praticou as mesmas estratégias sensacionalistas alarmistas pela mídia. Como uma potente porta-voz mirim, a mídia percebeu o poder potencial da jovem, e absorveu essa “nova voz da juventude” que dava um rejuvenescimento na reverberação do seu alarme climático. Logo, Greta, uma antiga vítima da eco-ansiedade, foi cooptada pela malfeitora mídia, algoz indutora do seu medo. Uma vez “incorporada” ao coro midiático alarmista, Greta se tornou mais um instrumento de propagação do pânico climático, agora revigorado. Em outras palavras, ela passou a causar a dor da qual ela já havia sido padecedora: eco-ansiedade *não adaptativa*. Enfim, antes ela havia sido ofendida; hoje, se tornou uma ofensora. No balanço

<sup>584</sup> Cf. destacado na Figura 224 (p. 30).

<sup>585</sup> Cf. apresentado na Figura 224 (p. 30).

entre a *eco-ansiedade positiva* (ativismo e pressão política) e a *eco-ansiedade negativa* (que inflige algum tipo de sofrimento alheio), é difícil julgar se tem valido a pena insistir nessa estratégia panicogênica. Então, é necessário acompanhar se os resultados positivos esperados estão sendo conquistados, como a efetivação, no ritmo esperado, das medidas para se evitar o aumento “catastrófico” de 1,5 °C da temperatura global até 2030. Então, daqui a 10 anos, quando os estudiosos olharem para trás, terão condições de avaliar se todo esse ocorrido valeu a pena de verdade.

### 1.5.2. ATIVISMO CLIMÁTICO JUVENIL

Os jovens que estão aprendendo sobre a mudança climática pela primeira vez podem compreender compreensivelmente que a mudança climática é o resultado de ações deliberadas e malévolas. Na verdade, é o oposto. As emissões são um subproduto do consumo de energia, necessário para que as pessoas tirem a si mesmas, suas famílias e suas sociedades da pobreza e alcancem a dignidade humana. Considerando que é isso que os ativistas do clima foram ensinados a acreditar, é compreensível que tantos deles ficassem com tanta raiva (SHELLENBERGER, 2020).

Há 2 anos atrás (antes da eclosão da pandemia da COVID-19), milhões de jovens inundaram as ruas de cidades ao redor do mundo exigindo que líderes políticos tomassem medidas urgentes para impedir as mudanças climáticas, inspirados pela ativista sueca Greta Thunberg, de 17 anos na época, e por outros movimentos coletivos. Pegando carona na onda de Greta, destaca-se o movimento conhecido como *Extinction Rebellion* (abreviado como *XR*; em português, “Rebelião da Extinção”), uma campanha criativa e disruptiva criada no Reino Unido em 2018, com o objetivo declarado de usar a desobediência civil não violenta. Assim, organizados em eventos de protestos pacíficos, jovens passavam a pressionar a ação do governo para se tentar evitar pontos

de inflexão no sistema climático, perda de biodiversidade e o risco de colapso social e ecológico.

Em out/2018, Greta foi a Londres para apoiar o *Extinction Rebellion* e exigir que o governo do Reino Unido tomasse medidas de emergência. Em nov/2018, a rebelião começou com 6.000 rebeldes bloqueando cinco pontes por várias horas. Em abr/2019, logo após o *Extinction Rebellion* ocupar cinco locais no centro de Londres por 11 dias e noites, com mais de 1.000 prisões, o Parlamento do Reino Unido declarou uma emergência climática<sup>586</sup> (MORTON, 2020).

A energia que os jovens derramam no ativismo é um produto do medo e da ansiedade com que vivem, tanto dos avisos cada vez mais terríveis na mídia quanto de testemunhar “os efeitos destrutivos e as consequências do colapso climático ao redor do mundo”. Agir é uma válvula de escape importante. Muitos jovens podem sentir que estão sofrendo sozinhos. Mas, com a facilidade proporcionada pelas mídias e redes sociais digitais, organizar grupos e criar um movimento maior dá uma sensação bastante reconfortante, potencializando o coro de suas vozes de indignação e revolta.

A Greta, o *Extinction Rebellion* e simpatizantes fazem parte de uma nova geração de jovens e adolescentes dispostos a criar algum tipo de situação provocativa (estratégias variadas que incluem ações coletivas e/ou individuais, como: protesto, desobediência, rebeldia, subversão, perturbação, sacrifício pessoal e/ou greve de fome, entre outros) para chamar a atenção midiática e popular sobre as mudanças climáticas. A Greta fez o sacrifício pessoal aos deixar de ir às aulas para, todos dias, exibir sua indignação pela inação dos políticos e líderes mundiais.

Apesar das devidas ressalvas, tais movimentos ambientalistas e climáticos juvenis trazem à tona a discussão temas ambientais interessantes, estimulando reflexões e mudanças comportamentais individuais diversas, como por exemplo certos hábitos de consumo (*köpskam, flygskam, smygflyga*, respectivamente “vergonha

<sup>586</sup> Até o momento (14/abr/2021), 1.926 jurisdições em 34 países emitiram declarações de emergência climática, cobrindo mais de 826 milhões de pessoas (THE CLIMATE EMERGENCY DECLARATION AND MOBILISATION, 2021). No Brasil, em jul/2020, foi criado o Projeto de Lei (PL) nº 3.961/2020 (BRASIL, 2020), cuja ementa diz: “Decreta o estado de emergência climática, estabelece a meta de neutralização das emissões de gases de efeito estufa no Brasil até 2050 e prevê a criação de políticas para a transição sustentável”. Das justificativas do referido PL, ressalta-se os trechos alarmistas de convencimento:

O aquecimento global não traz consigo o mero desconforto térmico de uma temperatura média mais elevada, mas *transformações profundas em ecossistemas* diferentes, com *significativos impactos para a vida social e para a natureza*.

De fato, mais do que uma simples alteração no termostato terrestre, a mudança do clima destrói ecossistemas, modifica os padrões de chuva, dissemina doenças, reduz

a produtividade da agricultura e da pesca, acarreta escassez de água potável, e implica mais fenômenos extremos e de maiores magnitudes como ondas de calor, secas, inundações, tempestades e furacões, além de inundações de zonas costeiras.

Para evitar uma *catástrofe de dimensões inestimáveis e irreversíveis*, os cientistas estimam que é preciso limitar o aquecimento global em até 1,5°C acima dos níveis pré-industriais. Cada fração acima deste valor trará ainda *mais riscos de impactos catastróficos* no planeta Terra (BRASIL, 2020, p. 3; grifos nossos).

Reconhecendo a emergência climática, em nov/2019, o Município de Recife/PE foi o primeiro ente governamental brasileiro a publicar uma norma legal, o Decreto nº 33.080/2019 (RECIFE, 2019).

de comprar<sup>587</sup>”, “vergonha de voar” e “voar às escondidas”<sup>588</sup>), hábitos alimentares<sup>589</sup> (como comer menos dos alimentos com as maiores “pegadas climáticas”, como carnes e laticínios<sup>590</sup>, por meio de dietas do tipo “1 dia sem comer carne”, vegetarianismo, veganismo entre tantas outras variantes) e ter menos filhos<sup>591</sup>.

No entanto, é sempre prudente ter em mente que esses jovens podem, na melhor das intenções, acabar agindo contraditoriamente a favor de práticas indesejáveis, reproduzindo o discurso alarmista, perpetrando a propagação do eco-medo, potencializando e perpetuando repercussões psicológicas de eco-ansiedade. A Greta, por exemplo, tem um talento natural em elaborar mensagens de emergência simples e atraentes. Consideremos então, como exemplos, dois discursos de Greta que ficaram notórios nesse sentido:

No Fórum Econômico Mundial de Davos, em jan/2019, Greta disse aos líderes participantes:

Não quero sua esperança. Eu não quero que você tenha esperança. Eu quero que você **entre em pânico**. Quero que você **sinta o medo** que sinto todos os dias... Quero que você aja como faria em uma **crise**. Quero que você aja como se nossa casa estivesse **pegando fogo**. Porque ela está [pegando fogo]. (MORTON, 2020, p. 17; tradução nossa; grifos nossos).

Em meados de ago/2019, Greta navegou da Inglaterra aos EUA para participar da Cúpula de Ação Climática da ONU. Falando em 23/set/2019, Thunberg abriu sua declaração (ONU NEWS, 2019) à Assembleia Geral com um comentário apaixonado e emocional que foi amplamente coberto pela mídia:

Isto está completamente errado. Eu não deveria estar aqui. Eu deveria estar na minha escola, do outro lado do oceano. E vocês vêm até nós, jovens, para pedir esperança. Como vocês ousam? Vocês roubaram

meus sonhos e minha infância com suas palavras vazias. E ainda assim, eu tenho que dizer que sou uma das pessoas com mais sorte. **As pessoas estão sofrendo e estão morrendo. Os nossos ecossistemas estão morrendo.** Por mais de 30 anos, a ciência tem sido muito clara. Como vocês se atrevem a continuar ignorando isto? Nós estamos vivenciando o **começo de uma extinção em massa**. E tudo o que vocês fazem é falar de dinheiro e de contos de fadas sobre um crescimento econômico eterno. Como vocês se atrevem?

(...)

Vocês dizem que estão nos escutando e que compreendem a **urgência**. Mas não importa **tão triste e furiosa** eu esteja, eu não quero acreditar no que dizem. Se vocês realmente entendem o que está acontecendo e continuam falhando em agir, vocês seriam um mal. E eu me recuso a acreditar nisso. A proposta de cortar as nossas emissões pela metade em 10 anos, apenas nos dá uma chance de 50% de ficar abaixo da marca de 1,5°C e existe um **risco de desencadear reações irreversíveis em cadeia que fogem do controle humano**.

(...) vocês não têm a maturidade suficiente para abordar este tema como ele realmente é. Vocês estão falhando conosco. Mas os jovens já começaram a entender sua traição. Os olhos de uma geração futura inteira estão sobre vocês. E se vocês escolherem fracassar. Eu lhes digo: nós jamais perdoaremos vocês. Nós não vamos deixar vocês fazerem isso. É aqui e agora, que nós colocamos um limite. O mundo está despertando. E a mudança está chegando, quer vocês queiram ou não (ONU NEWS, 2019, *online/não paginado*; grifos nossos).

Sobre esse inflamado discurso de Greta, cita-se um comentário pertinente de Berteaux (2020):

Durante toda a minha vida, ouvi dizer que a sabedoria exige que cabeças mais calmas prevaleçam quando tudo a seu redor está perdendo a cabeça e as coisas estão desmoronando. Ainda assim, a famosa ambientalista adolescente Greta Thunberg não quer que sejamos calmos ou esperançosos. Ela quer que entremos em pânico. Greta repreende: “Não quero

<sup>587</sup> A indústria têxtil é um dos setores mais poluentes do mundo, usando 93 bilhões de litros cúbicos de água por ano e emitindo 10% das emissões globais anuais de carbono (AFP, 2020).

<sup>588</sup> Cf. nota de rodapé nº 346.

<sup>589</sup> A produção mundial de alimentos (agricultura e pecuária juntos) é responsável por 26% das emissões mundiais de gases de efeito estufa. Isso é quase o mesmo que as emissões oriundas de toda a geração de eletricidade do mundo (RITCHIE, 2020).

<sup>590</sup> Um grande estudo publicado na revista *Science* (POORE; NEMECEK, 2018) calculou a média de emissões de gases de efeito estufa associadas a diferentes alimentos. Carne e laticínios, especialmente de vacas, têm um impacto significativo, com o gado respondendo por cerca de 14,5% dos gases de efeito estufa do mundo a cada ano. Isso é quase o mesmo que as emissões de todos os carros, caminhões, aviões e navios combinados no mundo hoje.

<sup>591</sup> Em artigo de Wynes e Nicholas (2017), para diversas escolhas de estilo de vida individuais foram calculados os respectivos potenciais de redução das emissões de gases de efeito estufa. Assim, os autores indicam algumas das ações mais eficazes para reduzir a “pegada de carbono” de um indivíduo, recomendando quatro ações de alto impacto (ou seja, práticas de baixas emissões): ter um filho a menos [uma redução média de 58,6 toneladas de emissão de tonelada equivalente de CO<sub>2</sub> (tCO<sub>2</sub>e) por ano]; viver sem carros (2,4 tCO<sub>2</sub>e economizado por ano); evitar viagens de avião (1,6 tCO<sub>2</sub>e economizado por voo transatlântico de ida e volta); e ter uma dieta alimentar baseada em vegetais (0,8 tCO<sub>2</sub>e economizado por ano). Essas ações têm um potencial muito maior para reduzir as emissões do que as estratégias comumente promovidas, como a reciclagem abrangente (quatro vezes menos eficaz do que uma dieta baseada em vegetais) ou a troca de lâmpadas domésticas (oito vezes menos).

que você tenha esperança. Eu quero que você entre em pânico. Quero que você sinta o medo que sinto todos os dias. E então eu quero que você faça algo". Apesar de sentir empatia com seu apelo, ainda acredito que devemos ter cuidado. Trazer à tona um bem comum tem muito a ver com manter uma atitude crítica e equilibrada (BERTEAUX, 2020, p. 130).

Deturpar a ciência, exagerar cenários climáticos apocalípticos e aterrorizar crianças e jovens não deveria ser a maneira de enfrentar os problemas.

### I.5.3. SÍNTESE E PERSPECTIVAS FUTURAS

O assunto *mudanças climáticas* emerge quando não há outros problemas globais em tanta evidência. Se o desemprego está nas mínimas históricas, se não existe a sensação disseminada de *problemas globais críticos*<sup>592</sup> e relativamente permanente em destaque, e se houver uma publicação de relatório do IPCC, então esse é o momento ideal, com grandes chances de elevada publicitação midiática e conseqüente aumento da atenção e da preocupação popular – e, provavelmente, também da eco-ansiedade. Grandes crises (econômicas, sanitárias) associadas com altos índices de desemprego atraem a

### I.6. PERGUNTA 05

**Ao mesmo tempo em que observamos os eventos citados na pergunta anterior, outros problemas disputam pela atenção do público: a pandemia de covid-19, crise política e tensões raciais. Estamos caminhando para um ápice de desmotivação e "fadiga dos problemas"? Como deve ser a cobertura midiática de tempos tão conturbados como estes?**

Com o surgimento da pandemia da COVID-19, a recente visibilidade despertada pelo movimento da juventude se mostrou ofuscado pelo real problema dos sérios danos à saúde das pessoas, incluindo a morte de milhares ao redor do mundo.

As mudanças climáticas representam um problema oportunista e conveniente, que só fica em destaque quando outros problemas mais importantes não estão em proeminência. Se a economia vai bem e se o nível de

atenção pública para si, desviando o olhar sobre assuntos climáticos e ambientais.

O caso da Greta deixou a sua marca, inclusive quando comparado ao grande pico de atenção/preocupação ocorrido em 2007-2009. Mas, por ser algo recente, ainda é cedo pra dizer como será a tendência doravante. O repentino surgimento da COVID-19 certamente encobriu boa parte da visibilidade da atuação da jovem ativista, e o andamento da solução da pandemia ditará muito o poder de renovação e manutenção da notoriedade de Greta. Como ativista – ou quiçá até mesmo como futura candidata a cargos políticos<sup>593</sup> –, seu destino então dependerá muito sobre o comportamento de fatores econômicos como: a ocorrência ou não de uma grave crise econômica procedente da pandemia da COVID-19; valores das *commodities* de combustíveis fósseis (petróleo, gás natural e carvão); valores dos créditos de carbono; e valores de tecnologias “zero carbono”. Assim, são favoráveis para Greta e o ativismo climático: ausência de séria crise econômica; queda no *commodities* baseadas no carbono; aumento dos valores dos créditos de carbono; e popularização do acesso e redução e dos valores de itens/produtos (carros elétricos, fontes de energias renováveis etc.), associada ao aumento de investimentos e subsídios a tecnologias de zero carbono.

desemprego está baixo, então é bastante provável que a preocupação com as questões ambientais e mudanças climáticas esteja em níveis elevados. Caso contrário, se o mundo está em crise econômica ou sanitária, então as pessoas estão mais apreensivas em garantir e manter um emprego, o sustento seu e da família, obter casa e comida e conforto material, ou seja, com problemas reais, imediatos, do que se angustiar com o risco de o clima no futuro ser desfavorável ou assolador. Essa é uma lógica do

<sup>592</sup> Problemas globais sérios, a exemplo do que foi tratado no item “I.2.2.2A “emergência climática” é o maior de todos os problemas atuais da humanidade?” (p. 10). Contudo, infelizmente, a percepção e sensação de urgência sobre eles não é tão evidente quanto deveria ser.

<sup>593</sup> “Como não posso votar, essa é uma das maneiras que eu posso fazer minha voz ser ouvida”, disse Greta em entrevista (BBC, 2019).



comportamento humano bastante simples, mas eficiente, de sobrevivência: garantir o almoço, dia após dia, para só depois pensar no caso de um eventual futuro jejum indesejado, desagradável; em outras palavras, é natural qualquer pessoa buscar resolver antes os problemas vitais e urgentes da vida cotidiana, do que sofrer a inquietação de problemas futuros, relativos a cenários negativos hipotéticos, distantes, cheio de dúvidas e incertezas (o que pode acontecer? acontecerá ou não? quando e onde ocorrerá? se acontecer algo, será tão ruim assim?).

Foi mostrado que todas pessoas possuem uma “*reserva de preocupações*”<sup>594</sup>, cuja capacidade está atrelada a diversos fatores, especialmente a idade (jovens – crianças e adolescentes – possuem uma capacidade bastante limitada quando comparados aos adultos). Ao se imaginar algo como “ápice de desmotivação”, este não deve ser confundido com as intrincados e impraticáveis meios de solução do problema climático. Se a solução não ocorre, não é porque as pessoas estão necessariamente desmotivadas. Pelo contrário, elas estão super preocupadas e querem sim que o problema das mudanças climáticas seja resolvido. Mas isso não depende direta e exclusivamente delas. É por conta de decisões políticas, questões econômicas e técnicas que a “grande solução” (transição energética) do aquecimento global não ocorre. Diante da complexidade envolvida, a transição energética, no ritmo atual, demandará décadas ainda para se concretizar.

De fato, as pessoas estão fartas de manterem-se em constante “estado de alerta”. Se as soluções parecem não vir de fato, por que sofrer tanto por situações que não inspiram esperanças viáveis? Assim, podemos estar todos sucumbindo à “culpa verde”, “sobrecarga ecológica” e “fadiga dos problemas”. É importante estarmos atentos aos efeitos entorpecedores que o bombardeio de informações pode ter, juntamente com a abordagem midiática de imprimir o medo ao difundir o desastre ecológico e o desesperante colapso climático. Muitos podem já estar, sim, saturados de “consciência ambiental” e talvez endurecidos pela ladainha usual de degradações planetárias.

À medida que nos aproximamos do sexto ciclo<sup>595</sup> de relatório de avaliação do IPCC em 2021-2022, pode ser que os novos documentos científicos darão mais um fôlego adicional no aumento da evidência do aquecimento global. No entanto, a magnitude de importância dada ao tema dependerá de outros fatores conjunturais globais. Veja, hoje ainda estamos passando pela pandemia da COVID-19, ainda sem perspectiva de

um fim definitivo. Também há indícios de um colapso econômico mundial de grandes proporções em curso (decorrente dos efeitos econômicos provocados pela pandemia da COVID-19), que pode estourar em breve, trazendo inflação, forte recessão e desemprego mundial. Logo, se não existirem problemas epidemiológicos e/ou econômicos maiores, pode ser que a questão climática seja revigorada por algum tempo. Mas, segundo a lógica do “ciclo dos problemas” já explicado, a permanência absoluta da evidência sobre determinada situação preocupante não costuma ser sustentável no médio e longo prazo. Existe uma “roda dos problemas”, onde há uma alternância dos mesmos problemas de sempre, em uma lógica do tipo: “O grande problema da vez agora é o aquecimento global!”. Primeiro tentam resolver. Depois percebem que “Opa, não dá para resolver! Muito difícil, complicado...”, seguido imediatamente pela mudança do discurso para “O grande problema da vez agora é a crise econômica!”. Quando olhamos as séries históricas, parecia que as mudanças climáticas havia atingido um pico de atenção (2007-2009) que seria inalcançável, que o tema estaria rumando a uma fase de “pós-problema”, ao “limbo prolongado”. Mas com a superação dos desafios econômicos e redução do desemprego global, o tema ressurgiu com vigorosa força em 2018-2020. Logo depois desse vertiginoso voo, o tema climático foi abatido pelo aparecimento da grande crise sanitária mundial da COVID-19.

Assim sucessivamente, o fracasso na solução de determinado problema é ofuscado pela aparição de um novo problema, maior ainda, que se torna o mais urgente de todos. E diante dessa rotatividade de problemas, não podemos negar: pequenos avanços vão sendo obtidos sim. Talvez não no ritmo de efetividade almejado. O progresso é intermitente e acumulativo. Mas, infelizmente, para muitos problemas da humanidade, suas soluções ainda estão, hoje, longe de vista.

A mídia, como o setor mais importante na amplificação social dos riscos, têm enorme responsabilidade em saber dosar o alarme e direcionar a percepção dos problemas da sociedade. Parece que ela tem insistido no abuso da estratégia alarmista, no apelo sensacionalista. Com a exagerada excitação emocional visceral, ela corrói o importante papel da racionalidade que deve prevalecer nas decisões – nos níveis pessoais e coletivos – que permeiam os inúmeros problemas da vida moderna. Estamos sendo compelidos a agir pelo desespero, a despertar nossos instintos natos de sobrevivência, esta profundamente alicerçada na

<sup>594</sup> Cf. itens “1.2.2.3. Concorrência e prevalência dos problemas” (p. 17) e “1.2.7.6. Jovens: os mais vulneráveis ao alarmismo” (p. 67).

<sup>595</sup> <https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar6/>

ferocidade. Apesar de humanos “racionais”, ainda somos animais com muitos resquícios de selvageria. Qualquer animal, quando acuado, é capaz de barbaridades, de praticar atos brutescos, irracionais. Com tantos aprendizados e conhecimentos acumulados, a humanidade não deve se rebaixar para atitudes animais e desvairadas. Gostaria de pensar diferente, mas parece que, com base na exploração desses instintos viscerais de agressividade, existe um triste caminho sendo trilhado em direção à difusão da confusão, que conduz à crises, aos conflitos e um caos generalizado.

Persistindo o popularizado discurso midiático nesse tom de “exagerismos” extremados, já estamos hoje assistindo ao reflexo de uma sociedade exaltada, cada vez mais polarizada, agressiva, tensionada pela crescente escalada para o conflito e o caos. Ao informar mal, seja com informações falsas (*fakenews*), desinformação, compreensões equivocadas, manipuladas ou distorcidas, gera-se incerteza, desconfiança, dúvida, “certezas irracionais”, extremismos de convicções deturpadas, pensamentos desejosos (“o que penso está certo”). Com a crise da Ciência, com a subjugação da razão pela emoção desprovida de juízo, em um ambiente de pós-verdade, onde passa a reinar a confusão, o confronto de ideias e discursos pode facilmente se desvirtuar e desviar para graves crises institucionais, eleitorais e políticas. Quem pensa diferente, pensa o contrário, é considerado adversário, o pior inimigo a ser combatido. Nos “tempos conturbados” de hoje, já sentimos diferentes tipos de intolerância em alguns graus preocupantes, em diferentes contextos cotidianos, seja em nível nacional ou internacional.

Assim como o exacerbado enfoque midiático nas mudanças climáticas ofusca a ciência bem como distorce a percepção sobre outros *problemas prementes*<sup>596</sup> já existentes, tal concentração da atenção e a aflição decorrente podem, também, distrair e desviar o olhar sobre ameaças futuras que, hoje, são pouco evidentes. Logo, do rol de possibilidades de realidades futuras, bem

que eu gostaria de não imaginar, mas é difícil não vislumbrar cenários com desfechos infelizes, como grandes conflitos diplomáticos, geopolíticos e bélicos. Sim, podem não ser tão remotas assim as chances de nefastas guerras mundiais que só trarão profundo sofrimento e inimaginável caos social e econômico. Talvez a sociedade esteja se preparando para um colapso climático, sem nem perceber que um verdadeiro caos futuro pode originar a partir de causas ainda pouco imaginadas, ainda tidas como pouco prováveis atualmente.

Hoje, parecem sutis e inofensivos o alarmismo e o sensacionalismo midiático, seja no escopo das questões climáticas ou em qualquer outra esfera temática. No entanto, o discurso apelativo da mídia tem contribuído consideravelmente com todo esse imbróglio ético-moral, com sérias implicações sociais. A percepção amedrontadora quanto à propagandeada *crise climática* tem provocado uma *crise psicológica* coletiva. A *ascensão do medo*<sup>597</sup> na sociedade é algo sem precedentes desde 1900. A distorção da percepções de riscos, os medos exagerados e as ansiedades disparatadas, todos estão aglutinados em um nauseante *clima de confusão* instaurado, onde é cada vez maior a sensação de insuperabilidade das adversidades hodiernas.

Estamos caminhando para fins catastróficos? Para colapsos climáticos, ambientais, econômicos, políticos, humanitários, de toda a sociedade como um todo? Só o tempo dirá. Enquanto isso, não aguardaremos desesperançosos, nem desistiremos de tentar mudar, melhorar as coisas e superar tantos desafios presentes.

Como base de enfrentamento de todas as formas de problemas existentes, clamamos pela via intelectual: *mais razão, menos emoção!* Mais raciocínio lógico e crítico, menos gritaria alarmista exagerada. Mais moderação midiática e prudência científica. A almejada harmonização para solução dos conflitos fluirá a partir de uma postura de maior serenidade, sabedoria e ponderação.

<sup>596</sup> Cf. item “1.2.2.2. A “emergência climática” é o maior de todos os problemas atuais da humanidade?” (p. 489).

<sup>597</sup> Cf. item “1.2.3.4. Evolução temporal do medo” (p. 23).

## REFERÊNCIAS

- ABRAM, N.; MCGREGOR, H.; TIERNEY, J. et al. Early onset of industrial-era warming across the oceans and continents. **Nature**, v. 536, p. 411–418, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/nature19082> – Acesso em: 06 mai. 2021.
- ABREU J.A.; BEER J.; FERRIZ-MAS A. 2010. Past and future solar activity from cosmogenic radionuclides. //: Cranmer S.R.; Hoeksema J.T.; Kohl J.L. (eds.). 2010. **Astronomical Society of the Pacific Conference Series Vol. 428: SOHO-23: understanding a peculiar solar minimum**. Proceedings of a workshop held 21–25 September 2009 in Northeast Harbor, Maine, USA. San Francisco: Astronomical Society of the Pacific. 428:287–295. [ISBN 978-1-58381-736-0]. URL: <<http://adsabs.harvard.edu/full/2010ASPC..428..287A>>. Acesso: 29.11.2015.
- ABREU J.A.; BEER J.; FERRIZ-MAS A.; MCCracken K.G.; STEINHILBER F. 2012. Is there a planetary influence on solar activity? **Astronomy & Astrophysics**. 548:A88. December 2012. [DOI: <http://dx.doi.org/10.1051/0004-6361/201219997>]
- AÇÃO EDUCATIVA. INAF BRASIL 2018: Resultados preliminares. [S./]: Ação Educativa e Instituto Paulo Montenegro, 2018. Disponível em: <https://acaoeducativa.org.br/publicacoes/indicador-de-alfabetismo-funcional-inaf-brasil-2018/> | ou | [https://acaoeducativa.org.br/wp-content/uploads/2018/08/Inaf2018\\_Relat%C3%B3rio-Resultados-Preliminares\\_v08Ago2018.pdf](https://acaoeducativa.org.br/wp-content/uploads/2018/08/Inaf2018_Relat%C3%B3rio-Resultados-Preliminares_v08Ago2018.pdf) – Acesso em: 05 abr. 2021.
- ADANERO, C. **Ouroboros drawing from a late medieval Byzantine Greek alchemical manuscript**. [S./], 2007. Disponível em: [https://en.wikipedia.org/wiki/File:Serpiente\\_alquimica.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/File:Serpiente_alquimica.jpg) – Acesso em: 05 abr. 2021.
- ADDOUNUR, O.J. Matemática e Música sob uma Perspectiva Histórico/Epistemológica: Mudanças Conceituais. **Revista Música**, v. 14, n. 1, p. 115–128, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/rm.v14i1.115249> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- ADLER, P.S.; KRANOWITZ, J.L. **A Primer on Perceptions of Risk, Risk Communication and Building Trust**. [S./]: The Keystone Center, fev. 2005. Disponível em: <http://www.eyeofthestormleadership.com/docs/TKC%20Risk%20Paper.fin.pdf> – Acesso em: 29 mar. 2021.
- AFP. **What if we stopped buying new clothes? A look at the phenomenon of 'Köpskam'**. [S./]: AFP-Relaxnews, 10 set. 2020. Disponível em: <https://us.fashionnetwork.com/news/What-if-we-stopped-buying-new-clothes-a-look-at-the-phenomenon-of-kopskam-1242413.html> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- AFP. What Is Mass Psychogenic Illness? **American Family Physician (AFP)**, v. 62, n. 12, p. 2655–2656, 15 dez. 2000. Disponível em: <https://www.aafp.org/afp/2000/1215/p2655.html> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- AGÊNCIA FAPESP. 2004. **Crateras reveladas**. 10 mai. 2004. URL: <<http://agencia.fapesp.br/1767>>. Acesso: 29.11.2015.
- AGÊNCIA FAPESP. 2010. **Impacto acabou com dinossauros**. 5 mar. 2010. URL: <<http://www.agencia.fapesp.br/materia/11852/impacto-acabou-com-dinossauros.htm>>. Acesso: 29.11.2015.
- AION mosaic **Glyptothek Munich W504**. //: WIKIPÉDIA: a enciclopédia livre. Wikimedia, 2007. Disponível em: [https://en.wikipedia.org/wiki/File:Aion\\_mosaic\\_Glyptothek\\_Munich\\_W504.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/File:Aion_mosaic_Glyptothek_Munich_W504.jpg) – Acesso em: 05 abr. 2020.
- AKASOFU, S.I. **Is the Earth still recovering from the “Little Ice Age”? A possible cause of global warming**. Fairbanks: International Arctic Research Center, University of Alaska Fairbanks, 2007. Disponível em: <http://www.wright.edu/~guy.vandegrift/climateblog/s06/akasofu.LIAge.pdf> – Acesso em: 22 abr. 2021.
- AKASOFU, S.I. **Is the Earth still recovering from the “Little Ice Age”? A possible cause of global warming**. (Revisão de 14 ago. 2008). Fairbanks: International Arctic Research Center, University of Alaska Fairbanks, 14 ago. 2008. Disponível em: [http://fakeclimate.com/arquivos/Internacional/Syun-IchiAkasofu/Earth\\_recovering\\_from\\_LIA\\_R.pdf](http://fakeclimate.com/arquivos/Internacional/Syun-IchiAkasofu/Earth_recovering_from_LIA_R.pdf) – Acesso em: 22 abr. 2021.
- AKASOFU, S.I. On the Present Halting of Global Warming. **Climate**, v. 1, n. 1, p. 4–11, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/cli1010004> – Acesso em: 22 abr. 2021.
- AKASOFU, S.I. On the recovery from the Little Ice Age. **Natural Science**, v. 2, n. 11, p. 1211–1224, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.4236/ns.2010.211149> – Acesso em: 22 abr. 2021.
- AKASOFU, S.I. **Two Natural Components of the Recent Climate Change**: (1) The Recovery from the Little Ice Age (A Possible Cause of Global Warming) and (2) The Multi-decadal Oscillation (The Recent Halting of the Warming). Fairbanks: International Arctic Research Center, University of Alaska Fairbanks, 30 abr. 2009. Disponível em: [https://selectra.co.uk/sites/default/files/pdf/two\\_natural\\_components\\_recent\\_climate\\_change%20\(1\)%20\(1\).pdf](https://selectra.co.uk/sites/default/files/pdf/two_natural_components_recent_climate_change%20(1)%20(1).pdf) – Acesso em: 22 abr. 2021.
- ALBRECHT, G. Chronic Environmental Change: Emerging ‘Psychoterratic’ Syndromes. //: WEISSBECKER, I (ed.). **Climate Change and Human Well-Being: Global Challenges and Opportunities**. New York: Springer, 2011. ISBN 9781441997425. Cap. 3. Disponível em: [https://doi.org/10.1007/978-1-4419-9742-5\\_3](https://doi.org/10.1007/978-1-4419-9742-5_3) – Acesso em: 05 abr. 2021.
- ALBRECHT, K. **Practical intelligence: the art and science of common sense**. San Francisco: Jossey-Bass, 2007. ISBN 9780787995652.

- ALBRECHT, K. **Social Intelligence: The New Science of Success**. San Francisco: Jossey-Bass, 2006. ISBN 9780787979386
- ALLARD, L.; MONNIN, A.; TASSET, C. Est-il trop tard pour l'effondrement? **Dans Multitudes**, v. 3, n. 76, p. 53-67, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3917/mult.076.0053> – Acesso em: 29 mar. 2021.
- ALVAREZ L.W.; ALVAREZ W.; ASARO F.; MICHEL H.V. 1980. Extraterrestrial Cause for the Cretaceous-Tertiary Extinction. **Science**. 208(4448):1095-1108. [DOI: <http://dx.doi.org/10.1126/science.208.4448.1095>]
- AMBRIZZI, T.; ARAUJO, M. (eds.). **Base científica das mudanças climáticas**. Contribuição do Grupo de Trabalho 1 do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC) ao Primeiro Relatório da Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas. Rio de Janeiro: COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: [http://www.pbmc.coppe.ufrj.br/index.php/pt/publicacoes/relatorios-pbmc/item/base-cientifica-das-mudancas-climaticas-volume-1-completo?category\\_id=18](http://www.pbmc.coppe.ufrj.br/index.php/pt/publicacoes/relatorios-pbmc/item/base-cientifica-das-mudancas-climaticas-volume-1-completo?category_id=18) – Acesso em: 29 abr. 2021.
- AMBRIZZI, T.; REHBEIN, A.; DUTRA, L.M.M.; CRESPO, N.M. **Mudanças climáticas e a sociedade**. São Paulo: IAG, 2021. 44 p. **E-book**. ISBN 9786588233030. Disponível em: <https://www.climaesociedade.iag.usp.br/> | ou | <https://www.climaesociedade.iag.usp.br/livreto.pdf> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- ANAXIMANDRO, 610-575 a.C. **Os pensadores originários**: Anaximandro, Parmênides, Heráclito. Tradução: Emmanuel Carneiro Leão e Sérgio Wmblewski. Petrópolis: Vozes, 1991. ISBN 8532604935.
- ANDRADE, M. **Pequena história da música**. Belo Horizonte: Nova Fronteira, 2015.
- ANDRADE, M. **Pequena história da música**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 2015.
- ANDRONOVA, N.G.; SCHLESINGER, M.E. Causes of global temperature changes during the 19th and 20th centuries. **Geophysical Research Letters**, v. 27, n. 14, p. 2137-2140, 15 jul. 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.1029/2000GL006109> – Acesso em: 22 abr. 2021.
- ANEAU, B. **Picta Poesis – Aeterna Hominum Natura**. Lyons: Macé Bonhomme, 1552. Disponível em: <http://www.emblems.arts.gla.ac.uk/french/emblem.php?id=FAa018> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- ANNIE, C. **Stela Depicting the Storm God Baal**. [S.l.]: Louvre, 2019. Disponível em: <https://web.archive.org/web/20191210163507/https://www.louvre.fr/en/node/38663> – Acesso em: 05 abr. 2020.
- ANTUNES, J. L. F.; CARDOSO, M. R. A. Uso Da Análise de Séries Temporais Em Estudos Epidemiológicos. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, v. 24, n. 3, p. 565-576, set. 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5123/S1679-49742015000300024> – Acesso em: 12 mai. 2021.
- APA. **Majority of US Adults Believe Climate Change Is Most Important Issue Today**. [S.l.]: American Psychological Association (APA), 6 fev. 2020a. Disponível em: <https://www.apa.org/news/press/releases/2020/02/climate-change> – Acesso em: 29 mar. 2021.
- APA. **Seasonal Affective Disorder (SAD)**. Washington, DC: American Psychological Association (APA), out. 2020b. Disponível em: <https://www.psychiatry.org/patients-families/depression/seasonal-affective-disorder> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- APEL, W. **Harvard Dictionary of Music**. 2 ed. Cambridge, Mass: Belknap Press of Harvard University Press, 1969. [ISBN 0-674-37501-7]
- APPINSYS. Temperature Projections – IPCC / Hansen v Non-CO2. **Appinsys [blog]**. [S.l.], 23 out. 2012. Disponível em: [http://appinsys.com/globalwarming/GW\\_TemperatureProjections.htm](http://appinsys.com/globalwarming/GW_TemperatureProjections.htm) – Acesso em: 01 mai. 2021.
- APS. **A guide for parents about the climate crisis**. [S.l.]: Australian Psychological Society (APS), out. 2018b. Disponível em: <https://www.psychology.org.au/for-the-public/Psychology-topics/Climate-change-psychology/Talking-with-children-about-the-environment/A-guide-for-parents-about-the-climate-crisis> | ou | <https://www.psychology.org.au/getmedia/f7d0974d-4424-4d60-a7eb-cfa0431b6860/Parents-guide-climate-crisis.pdf> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- APS. **Climate change and dealing with burnout**. [S.l.]: Australian Psychological Society (APS), nov. 2015. Disponível em: <https://www.psychology.org.au/for-the-public/Psychology-topics/Climate-change-psychology/Climate-change-and-dealing-with-burnout> | ou | <https://www.psychology.org.au/getmedia/994934a8-2916-4599-8806-aa3e0d2fd3c3/Dealing-with-burnout-climate-change.pdf> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- APS. **Coping with climate change distress**. [S.l.]: Australian Psychological Society (APS), mai. 2017. Disponível em: <https://www.psychology.org.au/for-the-public/Psychology-topics/Climate-change-psychology/Coping-with-climate-change-distress> | ou | [https://www.psychology.org.au/getmedia/cf076d33-4470-415d-8acc-75f375adf2f3/coping\\_with\\_climate\\_change.pdf.pdf](https://www.psychology.org.au/getmedia/cf076d33-4470-415d-8acc-75f375adf2f3/coping_with_climate_change.pdf.pdf) – Acesso em: 05 abr. 2021.
- APS. **The Climate Change Empowerment Handbook**: Psychological strategies to tackle climate change. [S.l.]: Australian Psychological Society (APS), jan. 2018a. Disponível em: <https://www.psychology.org.au/for-the-public/Psychology-topics/Climate-change-psychology/Climate-change> | ou | <https://www.psychology.org.au/getmedia/88ee1716-2604-44ce-b87a-ca0408dffa12/Climate-change-empowerment-handbook.pdf> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- APSC. **Tackling wicked problems**: A public policy perspective. [S.l.]: Australian Public Service Commission (APSC), 12 jun. 2018a. Disponível em: <https://legacy.apsc.gov.au/tackling-wicked-problems-public-policy-perspective> – Acesso em: 05 abr. 2021.

- ARAÚJO, T.S. Anaximandro e o Direito Quântico. **Polifonia – Revista Internacional Academia Paulista de Direito**, n. 1, outono/inverno, 2018, p. 264-285. Disponível em: <https://apd.org.br/anaximandro-e-o-direito-quantico/> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- ARBAB I.A. 2009. The Length of the Day: A Cosmological Perspective. **Progress in Physics**. 5(1):8-11. URL: <[http://www.ptep-online.com/index\\_files/2009/PP-16-02.PDF](http://www.ptep-online.com/index_files/2009/PP-16-02.PDF)>. Acesso: 29.11.2015.
- ARISTÓTELES. **Do céu**. Tradução do grego e notas de: Edson Bini. São Paulo: Edipro, 2014. 208 p. [ISBN 9788572837606].
- ASSINE M.L.; VESELY F.F. 2008. Ambientes glaciais. //: Silva A.J.P.; Aragão A.N.F.; Magalhães A.J.C. (eds.). 2008. **Ambientes de Sedimentação Siliciclástica do Brasil**. São Paulo: Ed. Beca. p. 24-51. [ISBN 8587256513; 343 p.]
- AVILA-DIAZ, A.; BENEZOLI, V.; JUSTINO, F. et al. Assessing current and future trends of climate extremes across Brazil based on reanalyses and earth system model projections. **Climate Dynamics**, v. 55, p. 1403–1426, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00382-020-05333-z> – Acesso em: 29 abr. 2021.
- AZEVEDO, R.P. **Ciclos Naturais: como a natureza opera a evolução**. Jundiá: Paco Editorial, 2021. 316 p. [ISBN 9786558405740]
- AZEVEDO, V.; STRÍKIS, N.M.; SANTOS, R.A. et al. Medieval Climate Variability in the eastern Amazon-Cerrado regions and its archeological implications. **Scientific Reports**, v. 9, artigo n. 20306, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-019-56852-7> – Acesso em: 06 mai. 2021.
- BABICH, V.V.; DAR'IN, A.V.; KALUGIN, I.A. et al. Climate prediction for the extratropical northern hemisphere for the next 500 years based on periodic natural processes. **Russian Meteorology and Hydrology**, v. 41, p. 593–600, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.3103/S1068373916090016> – Acesso em: 06 mai. 2021.
- BACON, F. Of Vicissitude of Things. //: SCOTT, M.A. (ed.). **The essays of Francis Bacon**. New York: C. Scribner's Sons, 1908. Disponível em: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Essays\\_of\\_Francis\\_Bacon\\_1908\\_Scott.djvu](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Essays_of_Francis_Bacon_1908_Scott.djvu) – Acesso em 10 mai. 2021.
- BALL, J. Why Carbon Pricing Isn't Working: Good Idea in Theory, Failing in Practice. **Foreign Affairs**, 2018, 134-146. Disponível em: <https://www.foreignaffairs.com/articles/world/2018-06-14/why-carbon-pricing-isnt-working> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- BAPTISTA, G.M.M. **Aquecimento Global: Ciência ou Religião?** 1 ed. Brasília: Hinterlândia Editorial, 2009. 186 p. [ISBN 8562684007]
- BARD E. 2004. Greenhouse effect and ice ages: historical perspective. **Comptes Rendus Geoscience**, 336(7-8):603-638. [DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.crte.2004.02.005>]
- BARTLEIN P.J. 2006. Time Scales of Climate Change. //: Elias S.A. (ed.). 2006. **Encyclopedia of Quaternary Science**. 1ª ed. Amsterdam: Elsevier. p. 1873-1883. [ISBN 978-0-444-52747-9; 3576 p.] [DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/B0-44-52747-8/00010-7>]
- BBC NEWS. **Greta Thunberg: Who is she and what does she want?** [S./]. BBC NEWS, 28 fev. 2020. Disponível em: <https://www.bbc.com/news/world-europe-49918719> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- BBC. **Greta Thunberg, a adolescente sueca que está sacudindo a luta ambiental**. [S./]. BBC, 23 abr. 2019. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/geral-48022690> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- BEACH, D.W. The Origins of Harmonic Analysis. **Journal of Music Theory**, v. 18, n. 2, p. 274-306, autumn, 1974. Disponível em: <http://www.istor.org/stable/843639> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- BEER J.; MENDER W.; STELLMACHER R. 2000. The role of the sun in climate forcing. **Quaternary Science Reviews**. 19(1-5):403-415. [DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0277-3791\(99\)00072-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0277-3791(99)00072-4)]
- BEKHRAD, J. **The ancient symbol that spanned millennia**. [S./]. BBC, 4 dez. 2017. Disponível em: <https://www.bbc.com/culture/article/20171204-the-ancient-symbol-that-spanned-millennia> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- BENDELL, J. **Deep Adaptation: A Map for Navigating Climate Tragedy**. IFLAS Occasional Paper 2. [S./]. Initiative for Leadership and Sustainability (IFLAS), 27 jul. 2018. Disponível em: <https://jembendell.com/2019/05/15/deep-adaptation-versions/> – Acesso em: 29 mar. 2021.
- BENKÖ F. 1985. Geological and cosmogonic cycles: as reflected by the new law of universal cyclicity. Budapest: Akademiai Kiado. [ISBN 9630532980; 400 p.]
- BEREZOW, A.B. **Poverty, Not Global Warming, Remains Biggest Challenge**. [S./]. The Breakthrough Institute, 6 set. 2013. Disponível em: <https://thebreakthrough.org/issues/energy/poverty-not-global-warming-remains-biggest-challenge> – Acesso em: 29 mar. 2021.
- BERGER A. 1988. Milankovitch Theory and climate. **Reviews of Geophysics**, 26(4):624-657. [DOI: <http://dx.doi.org/10.1029/RG026i004p00624>]
- BERGER W.H.; PÄTZOLD J.; WEFER G. 2002. A case for climate cycles: orbit, sun and moon. //: Wefer G. et al. (eds.). 2002. **Climate development and history of the North Atlantic realm**. Berlin: Springer-Verlag. p. 101-123. [ISBN 978-3-642-07744-9; 486 p.] [DOI: [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-662-04965-5\\_8](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-662-04965-5_8)]
- BERGER, W.H.; PÄTZOLD, J.; WEFER, G. A Case for Climate Cycles: Orbit, Sun and Moon, //: WEFER, G.; BERGER, W.H.; BEHRE, K.E. (eds.). **Climate development and history of the North Atlantic realm**. Berlin: Springer-Verlag, 2002. p. 101-123.

- BERKELEY EARTH. **Regional Climate Change**: Brazil. Berkeley Earth Surface Temperatures (BEST). [S./]. Berkeley Earth, 15 jun. 2017. Disponível em: <https://web.archive.org/web/20170615092802/http://berkeleyearth.lbl.gov/regions/brazil> | ou | <https://web.archive.org/web/20170615092802/http://berkeleyearth.lbl.gov/auto/Regional/TAVG/Text/brazil-TAVG-Trend.txt> – Acesso em: 12 mai. 2021.
- BERKELEY EARTH. **Regional Climate Change**: Brazil. Berkeley Earth Surface Temperatures (BEST). [S./]. Berkeley Earth, 15 jun. 2020. Disponível em: <http://berkeleyearth.lbl.gov/regions/brazil> | ou | <http://berkeleyearth.lbl.gov/auto/Regional/TAVG/Text/brazil-TAVG-Trend.txt> – Acesso em: 12 mai. 2021.
- BERTATO, F.B. “**De Divina Proportione**” de Luca Pacioli – Tradução anotada e comentada. Tese (Doutorado em Filosofia) – Instituto de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Estadual de Campinas, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.47749/T/UNICAMP.2008.425631> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- BERTEAUX, J. Applying Wisdom When Civilization Is at a Crossroads. **Comparative Civilizations Review**, v. 82, n. 82, artigo n. 12, 2020. Disponível em: <https://scholarsarchive.byu.edu/ccr/vol82/iss82/12> – Acesso em: 29 mar. 2021.
- BERTRAND, C.; VAN YPERSELE, J.P.; BERGER, A. Volcanic and solar impacts on climate since 1700. **Climate Dynamics**, v. 15, p. 355-367, 1999. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s003820050287> – Acesso em: 29 mar. 2021.
- BEST, C. A 60 year oscillation in Global Temperature data and possible explanations. **Clive Best** [blog]. [S./], 20 jun. 2011a. Disponível em: <http://clivebest.com/blog/?p=2295> – Acesso em: 26 abr. 2021.
- BEST, C. A Fit to Global Temperature Data. **Clive Best** [blog]. [S./], 06 jul. 2011b. Disponível em: <http://clivebest.com/blog/?p=2353> – Acesso em: 26 abr. 2021.
- BINDOFF N.L. et al. Observations: Oceanic Climate Change and Sea Level. //: Solomon S. et al. (eds.). 2007. **Climate Change 2007: The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 2007. 996p. URL: <<http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-chapter5.pdf>>. Acesso: 29.11.2015.
- BINDOFF, N.L.; P.A. STOTT, K.M. ACHUTARAO et al. Detection and Attribution of Climate Change: from Global to Regional. //: STOCKER, T.F.; D. QIN, G.-K. PLATTNER et al. (eds.). **Climate Change 2013: The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2013. Cap. 10. Disponível em: [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5\\_Chapter10\\_FINAL.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_Chapter10_FINAL.pdf) | ou | <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/> – Acesso em: 12 mai. 2021.
- BIRD, B. W.; ABBOTT, M. B.; VUILLE, M. et al. A 2,300-year-long annually resolved record of the South American summer monsoon from the Peruvian Andes. **Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)**, v. 108, n. 21, p. 8583–8588, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1073/pnas.1003719108> – Acesso em: 06 mai. 2021.
- BLACK, D.W.; RATHE, A.; GOLDSTEIN, R.B. Environmental illness. A controlled study of 26 subjects with '20th century disease'. **JAMA**, v. 264, n. 24, p. 3166-3170, 26 dez. 1990. Disponível em: <https://doi.org/10.1001/jama.264.24.3166> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- BLIZARD J.B. 1987. Long-Range Prediction of Solar Activity. //: Rampino M.R.; Sanders J.E. 1987. Newman W.S.; Konigsson L.K. (eds.). 1987. **Climate History, Periodicity, and Predictability**. New York: van Nostrand Reinhold. p. 415-420. [ISBN 0-442-27866-7; 544 p.]
- BLUMER, H. Social Problems as Collective Behavior. **Social Problems**, v. 18, n. 3, p. 298-306, 1971. Disponível em: <https://doi.org/10.2307/799797> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- BNEF. **Energy Transition Investment Trends**: Tracking global investment in the low-carbon energy transition. [S./]: BloombergNEF (BNEF), 19 jan. 2021. Disponível em: <https://about.bnef.com/energy-transition-investment/> | ou | <https://assets.bbhub.io/professional/sites/24/Energy-Transition-Investment-Trends-Free-Summary-Jan2021.pdf> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- BOND D.P.G.; GRASBY S.E. 2017. On the causes of mass extinctions. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**. 478: 3-29. [DOI: <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2016.11.005>]
- BOROVÍČKA J.; SPURNÝ P.; BROWN P.; WIEGERT P.; et al. The trajectory, structure and origin of the Chelyabinsk asteroidal impactor. **Nature**. 503(7475):235-237, 2013. [DOI: <http://dx.doi.org/10.1038/nature12671>]
- BOSI, A. **O ser e o tempo da poesia**. São Paulo: Cultrix, 1977. ISBN 8531603536.
- BOSS, LP. Epidemic hysteria: A review of the published literature. **Epidemiologic Reviews**, v. 19, n. 2, p. 233-243, 1997. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.epirev.a017955> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- BOURBAKI, N. The most mysterious shape of all: a spiral primer. **Quantum**, v. 5, n.4, p. 32-36, mar./abr. 1995. Disponível em: <https://static.nsta.org/pdfs/QuantumV5N4.pdf> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- BOYKOFF, M. PEARMAN, O. Now or Never: How Media Coverage of the IPCC Special Report on 1.5°C Shaped Climate-Action Deadlines. **One Earth**, v. 1, n. 3, p. 285-288, 22 nov. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2019.10.026> – Acesso em: 29 mar. 2021.
- BOYKOFF, M. T. **Who speaks for the climate?** Making sense of media reporting on climate change. Cambridge: Cambridge University Press, 2011. ISBN 978-0-521-11584-1. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/CBO9780511978586> – Acesso em: 05 abr. 2021.

- BOYKOFF, M.; AOYAGI, M.; BALLANTYNE, A.G.; BENHAM, A. et al. **World Newspaper Coverage of Climate Change or Global Warming, 2004-2021**. [S.]: Media and Climate Change Observatory (MeCCO), fev. 2021a. Disponível em: [https://sciencepolicy.colorado.edu/icecaps/research/media\\_coverage/world/index.html](https://sciencepolicy.colorado.edu/icecaps/research/media_coverage/world/index.html) – Acesso em: 29 mar. 2021.
- BOYKOFF, M.; AOYAGI, M.; BALLANTYNE, A.G.; BENHAM, A. et al. **World International Wire Services Coverage of Climate Change or Global Warming, 2004-2021**. [S.]: Media and Climate Change Observatory (MeCCO), fev. 2021b. Disponível em: [https://sciencepolicy.colorado.edu/icecaps/research/media\\_coverage/wire\\_services/index.html](https://sciencepolicy.colorado.edu/icecaps/research/media_coverage/wire_services/index.html) – Acesso em: 29 mar. 2021.
- BOYKOFF, M.; AOYAGI, M.; BALLANTYNE, A.G.; BENHAM, A. et al. **World Radio Coverage of Climate Change or Global Warming, 2004-2021**. [S.]: Media and Climate Change Observatory (MeCCO), fev. 2021c. Disponível em: [https://sciencepolicy.colorado.edu/icecaps/research/media\\_coverage/radio/index.html](https://sciencepolicy.colorado.edu/icecaps/research/media_coverage/radio/index.html) – Acesso em: 29 mar. 2021.
- BOYKOFF, M.; AOYAGI, M.; BALLANTYNE, A.G.; BENHAM, A. et al. **World Newspaper Coverage of Climate Change or Global Warming, 2004-2021**. [S.]: Media and Climate Change Observatory (MeCCO), fev. 2021d. Disponível em: [https://sciencepolicy.colorado.edu/icecaps/research/media\\_coverage/tv/index.html](https://sciencepolicy.colorado.edu/icecaps/research/media_coverage/tv/index.html) – Acesso em: 29 mar. 2021.
- BRADLEY R.S. 1999. **Paleoclimatology: Reconstructing Climates of the Quaternary**. 2ª ed. San Diego: Harcourt Acad. Press. 614 p. [v. 68, Intern. Geophys. Series, ISBN 978-0-12-124010-3]
- BRADSHAW FOUNDATION. **Ancient Symbols in Rock Art**. The 'Meaning' of Symbols. [S.]: 2021. Disponível em: [https://www.bradshawfoundation.com/ancient\\_symbols\\_in\\_rock\\_art/ancient\\_symbols\\_in\\_rock\\_art.php](https://www.bradshawfoundation.com/ancient_symbols_in_rock_art/ancient_symbols_in_rock_art.php) – Acesso em: 05 abr. 2021.
- BRANDÃO, J.S. **Mitologia Grega – Volume II**. Petrópolis: Vozes, 1987.
- BRASIL. Câmara dos Deputados. **Projeto de Lei nº 3.961/2020, de 28 de julho de 2020**. Decreta o estado de emergência climática, estabelece a meta de neutralização das emissões de gases de efeito estufa no Brasil até 2050 e prevê a criação de políticas para a transição sustentável. Brasília: Câmara dos Deputados, 2020. Disponível em: <https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=2258739> – Acesso em: 13 abr. 2021.
- BRASIL. **Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima**. Volume I: Estratégia Geral. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2016b. Disponível em: <http://www.pbmc.coppe.ufrj.br/documentos/PNA-Volume1.pdf> | ou | [http://www.pbmc.coppe.ufrj.br/index.php/pt/publicacoes/documentos-publicos/item/pna-sumario-executivo?category\\_id=7](http://www.pbmc.coppe.ufrj.br/index.php/pt/publicacoes/documentos-publicos/item/pna-sumario-executivo?category_id=7) – Acesso em: 29 abr. 2021.
- BRASIL. **Primeira Comunicação Nacional do Brasil**. Comunicação nacional inicial do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas Sobre Mudança do Clima. Brasília: Ministério da Ciência e Tecnologia, nov. 2004. Disponível em: [http://www.pbmc.coppe.ufrj.br/index.php/pt/publicacoes/documentos-publicos/item/primeira-comunicacao-nacional-do-brasil?category\\_id=7](http://www.pbmc.coppe.ufrj.br/index.php/pt/publicacoes/documentos-publicos/item/primeira-comunicacao-nacional-do-brasil?category_id=7) | ou | [https://antigo.mctic.gov.br/mctic/opencms/ciencia/SEPED/clima/Comunicacao\\_Nacional/Comunicacao\\_Nacional.html](https://antigo.mctic.gov.br/mctic/opencms/ciencia/SEPED/clima/Comunicacao_Nacional/Comunicacao_Nacional.html) – Acesso em: 26 abr. 2021.
- BRASIL. **Segunda Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas Sobre Mudança do Clima**. Volume 2. Brasília: Ministério da Ciência e Tecnologia, 2010. Disponível em: [https://antigo.mctic.gov.br/mctic/export/sites/institucional/ciencia/SEPED/clima/publicacao/Comunicacoes\\_Nacionais/SCN\\_Portugues\\_Volume-2.pdf](https://antigo.mctic.gov.br/mctic/export/sites/institucional/ciencia/SEPED/clima/publicacao/Comunicacoes_Nacionais/SCN_Portugues_Volume-2.pdf) | ou | [https://antigo.mctic.gov.br/mctic/opencms/ciencia/SEPED/clima/Comunicacao\\_Nacional/Comunicacao\\_Nacional.html](https://antigo.mctic.gov.br/mctic/opencms/ciencia/SEPED/clima/Comunicacao_Nacional/Comunicacao_Nacional.html) – Acesso em: 26 abr. 2021.
- BRASIL. **Terceira Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas Sobre Mudança do Clima**. Volume 2. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2016a. Disponível em: [https://antigo.mctic.gov.br/mctic/export/sites/institucional/ciencia/SEPED/clima/arquivos/Comunicacoes\\_Nacionais/TCN\\_port/TCN\\_Volume\\_2a.pdf](https://antigo.mctic.gov.br/mctic/export/sites/institucional/ciencia/SEPED/clima/arquivos/Comunicacoes_Nacionais/TCN_port/TCN_Volume_2a.pdf) | ou | [https://antigo.mctic.gov.br/mctic/opencms/ciencia/SEPED/clima/Comunicacao\\_Nacional/Comunicacao\\_Nacional.html](https://antigo.mctic.gov.br/mctic/opencms/ciencia/SEPED/clima/Comunicacao_Nacional/Comunicacao_Nacional.html) – Acesso em: 26 abr. 2021.
- BRAZIL, R. **Doomsday Clock ticks closer to disaster**. [S.]: Physics World, 20 set. 2020. Disponível em: <https://physicsworld.com/a/doomsday-clock-ticks-closer-to-disaster/> – Acesso em: 29 mar. 2021.
- BROECKER, W.S. Climatic Change: Are We on the Brink of a Pronounced Global Warming? **Science**, v. 189, n. 4201, p. 460–463, 1975. Disponível em: <https://doi.org/10.1126/science.189.4201.460> – Acesso em: 22 abr. 2021.
- BRÖNNIMANN S. 2001. Eduard Brückner. The Sources and Consequences of Climate Change and Climate Variability in Historical Times. **EOS Trans. AGU**, 82(8):104-104. [DOI: <http://dx.doi.org/10.1029/01E000055>]
- BRÖNNIMANN, S. **Climatic Changes Since 1700**. Cham: Springer, 2015. ISBN 9783319190419 (Advances in Global Change Research, Volume 55).
- BRONOWSKI, J. The Music of the Spheres. //: CAMPBELL, D.; HIGGINS, J. (eds.). **Mathematics**: people, problems, results. Belmont, Calif: Wadsworth International, 1984. p. 61-73. ISBN 0534028799.
- BROWN P.G.; ASSINK J. D.; ASTIZ L.; BLAAUW R.; BOSLOUGH M.B.; et al. A 500-kiloton airburst over Chelyabinsk and an enhanced hazard from small impactors. **Nature**. 503(7475):238-241, 2013. [DOI: <http://dx.doi.org/10.1038/nature12741>]
- BROWN, J.S. **Environmental and Chemical Toxins and Psychiatric Illness**. Washington: American Psychiatric Publishing, Inc.; 2002. ISBN 0880489545.

- BROWN, O. **Migration and Climate Change**. IOM Migration Research Series (MRS), nº 31. Geneva: International Organization for Migration (IOM), 2008. Disponível em: <https://publications.iom.int/books/mrs-ndeg31-migration-and-climate-change> – Acesso em: 29 mar. 2021.
- BRÜCKNER, E. **Klimaschwankungen seit 1700, nebst Bemerkungen über die Klimaschwankungen der Diluvialzeit**. Geographische Abhandlungen 4. Vienna: Ed. Hölzel, 1890. Disponível em: [https://archive.org/details/bub\\_gb\\_UCRUAAAAMAAJ](https://archive.org/details/bub_gb_UCRUAAAAMAAJ) - Acesso em 11 mai. 2021.
- BRYDEN H.L.; LONGWORTH H.R.; CUNNINGHAM S.A. 2005. Slowing of the Atlantic meridional overturning circulation at 25°N. **Nature**. **438**(7068):655-657. [DOI: <http://dx.doi.org/10.1038/nature04385>]
- BUNT, L.N.; JONES, P.S.; BEDIANT, J.D. **The historical roots of elementary mathematics**. New York: Dover Publications, 1988. [ISBN 0-486-25563-8].
- BURKE, M.; GONZÁLEZ, F.; BAYLIS, P. et al. Higher temperatures increase suicide rates in the United States and Mexico. **Nature Clim Change**, v. 8, p. 723–729, jul. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0222-x> – Acesso em: 29 mar. 2021.
- BURROUGHS, W. **Weather cycles: real or imaginary**. 2ª ed. Cambridge, New York: Cambridge University Press, 2003. ISBN 9780521528221.
- CAIRUS, H.F.; RIBEIRO JR.; W.A. **Textos hipocráticos: o doente, o médico e a doença** [online]. Rio de Janeiro: Editora FIOCRUZ, 2005. Coleção História e Saúde. 252 p. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0102-311X2006000100029> – Acesso em: 05 abr. 2021. [ISBN 978-85-7541-375-3].
- CAJORI, F. **A history of mathematical notations**. New York: Dover Publications, 1993. ISBN 0486677664.
- CALLAGHAN, M.W.; MINX, J.C.; FORSTER, P.M. A topography of climate change research. **Nature Climate Change**, v. 10, p. 118–123, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41558-019-0684-5> – Acesso em: 29 mar. 2021.
- CARAÇA, B.J. **Conceitos Fundamentais da Matemática**. Lisboa: 1951.
- CARDIFF UNIVERSITY. **'Biggest shift yet' in British public's attitude to risks of climate change**. [S.l.]: Cardiff University, 3 mar/ 2020. Disponível em: <https://www.cardiff.ac.uk/news/view/1766141-biggest-shift-yet-in-british-publics-attitude-to-risks-of-climate-change> – Acesso em: 29 mar. 2021.
- CARLETON, R. N. Fear of the unknown: One fear to rule them all? **Journal of Anxiety Disorders**, v. 41, p. 5-21, 2016b. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.janxdis.2016.03.011> – Acesso em: 29 mar. 2021.
- CARLETON, R. N. Into the unknown: A review and synthesis of contemporary models involving uncertainty. **Journal of Anxiety Disorders**, v. 39, p. 30-43, 2016a. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.janxdis.2016.02.007> – Acesso em: 29 mar. 2021.
- CARNEIRO, C.D.R. 2012. As esferas terrestres se reciclam: o Ciclo das Rochas. //: Hasui Y.; Carneiro C.D.R.; Almeida F.F.M.de, Bartorelli A. (eds.) 2012. **Geologia do Brasil**. São Paulo: Ed. Beca. p. 16-23. (Cap. 1). [ISBN 987-85-62768-10-1]
- CARNEIRO, C.D.R.; BRITO-NEVES B.B.; AMARAL I.A.; BISTRICHI C.A. 1994. O Atualismo como princípio metodológico em Tectônica. **Bol. Geoc. Petrobrás**, **8**(2/4):275-293.
- CARNEIRO, C.D.R.; GONÇALVES P.W. 2013. Ciência do Sistema Terra em cursos superiores de formação de geógrafos. //: Vitte A.C. (org.) 2013. **Ensaio sobre Geografia**. Campinas, Unicamp (no prelo desde 28.02.2013).
- CARNEIRO, C.D.R.; LOPES O.R.; GONÇALVES P.W. 2009. O Ciclo das Rochas na Natureza. **Terra Didática**, **5**(1):50-62. URL: [http://www.ige.unicamp.br/terraedidatica/v5/v5\\_a5.html](http://www.ige.unicamp.br/terraedidatica/v5/v5_a5.html). Acesso 08.03.2014.
- CARNEIRO, C.D.R.; MIZUSAKI A.M.P.; ALMEIDA F.F.M.de. 2005. A determinação da idade das rochas. **Terra Didática**, **1**(1):6-35. URL: [http://www.ige.unicamp.br/terraedidatica/v1/v1\\_a2.html](http://www.ige.unicamp.br/terraedidatica/v1/v1_a2.html). Acesso 21.12.2015.
- CARNEIRO, C.D.R.; TONILOLO J.C. 'Hot' Earth in the mass media: the reliability of news reports on global warming. **História, Ciências, Saúde – Manguinhos**, Rio de Janeiro, v. 19, n. 2, p. 369-389, abr.-jun.; 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/hicsm/a/nFQksshntFcdkFHvBBSTYQL/?format=pdf&lang=en> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- CARNEIRO, C.D.R.; TONILOLO, J.C. A Terra 'quente' na imprensa: confiabilidade de notícias sobre aquecimento global. **História, Ciências, Saúde – Manguinhos**, Rio de Janeiro, v. 19, n. 2, p. 369-389, abr.-jun.; 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0104-59702012000200002> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- CARRINGTON, D. **Why the Guardian is changing the language it uses about the environment**. [S.l.]: The Guardian, 17 mai. 2019. Disponível em: <https://www.theguardian.com/environment/2019/may/17/why-the-guardian-is-changing-the-language-it-uses-about-the-environment> – Acesso em: 29 mar. 2021.
- CARTER, B. **There IS a problem with global warming... it stopped in 1998**. [S.l.]: The Telegraph, 08 abr. 2006. Disponível em: <https://www.telegraph.co.uk/comment/personal-view/3624242/There-IS-a-problem-with-global-warming...-it-stopped-in-1998.html> – Acesso em: 26 abr. 2021.
- CARYL, E. Additional Thoughts On Natural Cycles. //: **NoTricksZone** [blog]. [S.l.], 25 mai. 2015. Disponível em: <https://notrickszone.com/2015/05/25/analysis-coinciding-maxima-of-three-natural-cycles-ends-cooling-ahead-as-they-turn-negative/> – Acesso em: 01 mai. 2021.



- CARYL, E. Natural Cycles In A Random World Are Unmistakable... Future Holds Nothing To Fear. *In: NoTricksZone [blog]*. [S./], 14 mai. 2015. Disponível em: <https://notrickszone.com/2015/05/14/natural-cycles-in-a-random-world-are-unmistakable-future-holds-nothing-to-fear/> – Acesso em: 01 mai. 2021.
- CASEBOURNE, I.; DAVIES, C.; FERNANDES, M.; NORMAN, N. **Assessing the accuracy and quality of Wikipedia entries compared to popular online encyclopaedias: comparative preliminary study across disciplines in English, Spanish and Arabic**. Brighton: Epic, 2012. Disponível em <https://trends.ifla.org/node/101> – Acesso em: 29 mar. 2021.
- CASTELFRANCHI, Y. **Avaliando riscos: os números contra a emoção**. [S./]: Comciência, 10 fev. 2007. Disponível em: <https://www.comciencia.br/comciencia/handler.php?section=8&edicao=21&id=225> – Acesso em: 29 mar. 2021.
- CERVATO C.; FRODEMAN R. 2014. A importância do tempo geológico: desdobramentos culturais, educacionais e econômicos. Trad. Briani M.C.; Gonçalves P.W. **Terra Didática**, 10(1):67-79. URL: [http://www.ige.unicamp.br/terraedidatica/v10\\_1/6.html](http://www.ige.unicamp.br/terraedidatica/v10_1/6.html). Acesso 29.09.2015.
- CERVATO, C.; FRODEMAN R. 2012. The significance of geologic time: cultural, educational, and economic frameworks. **The Geol. Soc. Am.; Special Paper**, 486:19-27. [DOI: [http://dx.doi.org/10.1130/2012.2486\(03\)](http://dx.doi.org/10.1130/2012.2486(03))]
- CERVENY R.S.; SHAFER J.A. 2001. The Moon and El Niño. **Geophysical Research Letters**. 28(1):25-28. [DOI: <http://dx.doi.org/10.1029/2000GL012117>]
- CHARBONNEAU, P. The Planetary Hypothesis Revived. **Nature**, v. 493, n. 7434, p. 613–614, jan. 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1038/493613a> – Acesso em: 26 abr. 2021.
- CHARVÁTOVÁ I. 2000. Can origin of the 2400-year cycle of solar activity be caused by solar inertial motion? **Annales Geophysicae**. 18(4):399-405. [DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s00585-000-0399-x>]
- CHEN, X.; TUNG, K.-K. Global Surface Warming Enhanced by Weak Atlantic Overturning Circulation. **Nature**, v. 559, n. 7714, p. 387–391, jul. 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1038/s41586-018-0320-y> – Acesso em: 12 mai. 2021.
- CHENOWETH M. 2006. Historical Climatology. *In: Elias S.A. ed. 2006. Encyclopedia of Quaternary Science*. 1ª ed. Amsterdam: Elsevier. p. 2002-2010. [DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/B0-44-452747-8/00030-2>]
- CHERMAN, A.; VIEIRA, F. **O tempo que o tempo tem: por que o ano tem 12 meses e outras curiosidades sobre o calendário**. São Paulo: Jorge Zahar Editor, 2005. [ISBN 9788537800560].
- CHRISTENSEN, J.H.; B. HEWITSON, A. BUSUIOC, A. CHEN, X. et al. Regional Climate Projections. *In: SOLOMON, S.; D. QIN, M. MANNING, Z. CHEN, M. et al. (eds.). Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*. Cambridge: Cambridge University, 2007. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4-wg1-chapter11-1.pdf> – Acesso em: 26 abr. 2021.
- CHRISTIANSON, G.E. **Greenhouse: the 200-year story of global warming**. New York: Walker and Co, 1999. [ISBN 978-0802713469].
- CHRISTIANO V.; PITKANENY M.; SMARANDACHE F. 2009. A Few Remarks on “The Length of Day: A Cosmological Perspective”. **Progress in Physics**. 5(1):8-11. URL: [http://www.ptep-online.com/index\\_files/2009/PP-16-L2.PDF](http://www.ptep-online.com/index_files/2009/PP-16-L2.PDF) >. Acesso: 29.11.2015.
- CHRISTY, J. R.; SPENCER, R. W. **AMSU/MSU Low troposphere Day/Month Temperature Anomalies and Annual Cycle V6**. [S./]: NASA Global Hydrology Resource Center DAAC, 2018. Dados disponíveis em em: <http://dx.doi.org/10.5067/GHRC/AMSU-A/DATA402> – Acesso em: 12 mai. 2021.
- CHRISTY, J.R. **Testimony of John R. Christy**. [S./], U.S. House Committee on Science, Space & Technology, 02 fev. 2016. Disponível em: <https://docs.house.gov/meetings/SY/SY00/20160202/104399/HHRG-114-SY00-Wstate-ChristyJ-20160202.pdf> – Acesso em: 26 abr. 2021.
- CHUMAKOV N.M. 2002. One-way and quasi-periodic climate changes: Geologic evidence. **Russian Journal of Earth Sciences**. 4(4):277–299. URL: <http://elpub.wdcb.ru/journals/rjes/v04/tje02088/tje02088.pdf> >. Acesso: 29.11.2015.
- CHUMAKOV N.M. 2005. Factors of Global Climatic Changes Inferred from Geological Data. **Stratigraphy and Geological Correlation**. 13(3):221–241.
- CHYLEK, P.; DUBEY, M.K.; LESINS, G. et al. Imprint of the Atlantic multi-decadal oscillation and Pacific decadal oscillation on southwestern US climate: past, present, and future. **Climate Dynamics**, v. 43, p. 119–129, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00382-013-1933-3> – Acesso em: 06 mai. 2021.
- CIANCONI, P.; BETRÒ, S.; JANIRI, L. The Impact of Climate Change on Mental Health: A Systematic Descriptive Review. **Frontiers in Psychiatry**, v. 11, n. 74, artigo 74, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpsy.2020.00074> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- CICERO. *In: WIKIQUOTE*. Wikimedia, 2021. Disponível em: <https://en.wikiquote.org/wiki/Cicero> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- CICLO. *In: Dicionário PRIBERAM Online de Português Contemporâneo*, 2020. Disponível em: <http://www.priberam.pt/dlpo/ciclo> – Acesso em: 05 abr. 2020.
- CITANDO a Wikipédia. *In: WIKIPÉDIA: a enciclopédia livre*. Wikimedia, 2021. Disponível em: [https://pt.wikipedia.org/wiki/Wikip%C3%A9dia:Citando\\_a\\_Wikip%C3%A9dia#Wikip%C3%A9dia\\_como\\_fonte](https://pt.wikipedia.org/wiki/Wikip%C3%A9dia:Citando_a_Wikip%C3%A9dia#Wikip%C3%A9dia_como_fonte) – Acesso em: 05 abr. 2021.

- CLARK, J.O.; BLACK, J. **Maps that changed the world**. London: Batsford, 2015. [ISBN 9781849942973].
- CLAYTON, S. Climate anxiety: Psychological responses to climate change. **Journal of Anxiety Disorders**, v. 74, artigo n. 102263, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.janxdis.2020.102263> – Acesso em: 29 mar. 2021.
- CLAYTON, S.; KARAZSIA, B.T. Development and validation of a measure of climate change anxiety. **Journal of Environmental Psychology**, v. 69, artigo 101434, jun. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2020.101434> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- CLAYTON, S.; MANNING, C.M.; KRYGSMAN, K.; SPEISER, M. **Mental Health and Our Changing Climate: Impacts, Implications, and Guidance**. Washington, D.C.: American Psychological Association, and ecoAmerica, 2017. Disponível em: <https://www.apa.org/news/press/releases/2017/03/climate-mental-health> | ou | <https://www.apa.org/news/press/releases/2017/03/mental-health-climate.pdf> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- CLELAND C.E. 2002. Methodological and epistemic differences between historical science and experimental science. **Philosophy of Science**, 69(3):447-451. [DOI: <http://dx.doi.org/10.1086/342455>]
- CLIMATE SKEPTIC. Update on my Climate Model. **Climate Skeptic**. [S./], 21 set. 2013. Disponível em: <https://www.climate-skeptic.com/2013/09/update-on-my-climate-model-spoiler-its-doing-a-lot-better-than-the-pros.html> – Acesso em: 22 abr. 2021.
- COCHRAN, W. et al. What is the fast Fourier transform? **IEEE Transactions on Audio and Electroacoustics**, v. 15, n. 2, p. 45-55, jun. 1967. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TAU.1967.1161899> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- COGHLAN A. 2012. **Earth's oldest impact crater found in Greenland**. Newscientist. 29 jun. 2012. URL: <http://www.newscientist.com/article/dn21996-earths-oldest-impact-crater-found-in-greenland.html> >. Acesso: 29.11.2015.
- COLGAN, J.D. Oil, Conflict, and U.S. National Interests. Policy Brief. **Quarterly Journal: International Security**, out. 2013. Disponível em: <https://www.belfercenter.org/publication/oil-conflict-and-us-national-interests> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- COLLINS, M.; R. KNUTTI, J. ARBLASTER et al.: Long-term Climate Change: Projections, Commitments and Irreversibility. //: STOCKER, T.F.; D. QIN, G.-K. PLATTNER et al. (eds.). **Climate Change 2013: The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2013. Cap. 12. Disponível em: [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5\\_Chapter12\\_FINAL.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_Chapter12_FINAL.pdf) | ou | <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/> – Acesso em: 12 mai. 2021.
- COMPO G.P.; SARDESHMUKH P.D. 2009. Oceanic influences on recent continental warming. **Climate Dynamics**. 32(2-3):333-342. [DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s00382-008-0448-9>]
- CONDIE C.K. 1998. Episodic continental growth and supercontinents: a mantle avalanche connection? **Earth and Planetary Science Letters**. 163(1-4):97-108. [DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0012-821X\(98\)00178-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0012-821X(98)00178-2)]
- CONDIE K.C. 2011. The Supercontinent Cycle. //: Condie K.C. 2011. **Earth as an Evolving Planetary System**. 2ª ed. Oxford: Academic Press. p. 317-355. [ISBN 978-0-12-385227-4; 578 p.]
- CONNOLLY, R.; SOON, W.; CONNOLLY, M. et al. How much has the Sun influenced Northern Hemisphere temperature trends? An ongoing debate. **Research in Astronomy and Astrophysics**, 2021 [no prelo, a ser publicado em jun. 2021]. Cópia disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/351582224> – Acesso em: 12 mai. 2021.
- CONTRERAS, B. **For young Californians, climate change is a mental health crisis too**. [S./]: Los Angeles Times, 27 dez. 2020. Disponível em: <https://www.latimes.com/politics/story/2020-12-27/for-young-californians-climate-change-is-a-mental-health-crisis-too> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- CONWAY, P. **The Entrance Stone at Newgrange. Illustration**. [S./]: 2021. Disponível em: <http://www.carrowkeel.com/art/index.html> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- COOLEY, J.W.; TUKEY, J.W. An algorithm for the machine calculation of complex Fourier series. **Mathematics of Computation**. v. 19, n. 90, p. 297-301, 1965. Disponível em: <https://doi.org/10.1090/S0025-5718-1965-0178586-1> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- COPENHAGEN CONSENSUS CENTER. **Copenhagen Consensus 2012: Solving the World's Challenges**. Copenhagen: Copenhagen Consensus Center, 2012. Disponível em: <https://www.copenhagenconsensus.com/publication/third-copenhagen-consensus-outcome-document> – Acesso em: 29 mar. 2021.
- COSTAIN, J.K., ÇORUH, C. **Basic theory of exploration seismology**. Amsterdam Oxford: Elsevier, 2004. [ISBN 0-08-037019-5].
- COURTILLOT V.; GALLET Y.; MOUËL J.L.; FLUTEAU F.; GENEVEY A. 2007. Are there connections between the Earth's magnetic field and climate? **Earth and Planetary Science Letters**. 253(3-4):328-339. [DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.epsl.2006.10.032>]
- COYLE, K.V.; SUSTEREN, L.V. **The Psychological Effects of Global Warming on the United States: And Why the U.S. Mental Health Care System Is Not Adequately Prepared**. Reston: National Wildlife Federation, fev. 2021. Disponível em: <https://www.nwf.org/Educational-Resources/Reports/2012/03-12-2012-Psychological-Effects-Global-Warming> | ou | [https://www.nwf.org/~media/PDFs/Global-Warming/Reports/Psych\\_Effects\\_Climate\\_Change\\_Full\\_3\\_23.ashx](https://www.nwf.org/~media/PDFs/Global-Warming/Reports/Psych_Effects_Climate_Change_Full_3_23.ashx) – Acesso em: 05 abr. 2021.

- CRAPS, S. Climate trauma. *In*: DAVIES, C.; MERETOJA, H. (ed.). **The Routledge companion to literature and trauma**. Abingdon: Routledge, 2020, p. 275–284. Disponível em: <https://doi.org/10.4324/9781351025225-25> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- CRITCHFIELD H.J. 1966. **General climatology**. 2ª ed. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall. [420 p.]
- CRÓSTA A.P. 1982. Estruturas de impacto no Brasil: uma síntese do conhecimento atual. *In*: Congr. Bras. Geol.; 32, Salvador. **Anais...** Salvador: SBG. v. 4, p. 1372-1377.
- CRÓSTA A.P. 1986. Impact structures in Brazil. *In*: Pohl J. (ed.). 1986. **Research in terrestrial impact structures**. Braunschweig, Wiesbaden, Fried. Vieweg & Sons. p. 30-38.
- CRÓSTA A.P. 2002. Domo de Araguainha (GO-MT): O maior astroblema da América do Sul. *In*: Schobbenhaus C.; Campos D.A.; Queiroz E.T.; Winge M.; Berbert-Born M. (eds.). 2002. **Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil**. Vol. 1. Brasília: DNPM/CPRM/SIGEP. p. 531-540.
- CRÓSTA A.P. 2012. Estruturas de impacto e astroblemas brasileiros. *In*: Hasui Y.; Carneiro C.D.R.; Almeida F.F.M.; Bartorelli A. (eds). 2012. **Geologia do Brasil**. São Paulo: Ed. Beca. p. 673-708. (Cap. 28). [ISBN 978-85-62768-10-1].
- CRU. **HadCRUT3 temperature data page**. [S.l.]: Climatic Research Unit (CRU), 2014. Disponível em: <https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/crutm3/> | ou | <https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/crutm3/HadCRUT3-gl.dat> – Acesso em: 12 mai. 2021.
- CRUZ S.M.; MANATA, B. Measurement of Environmental Concern: A Review and Analysis. **Frontiers in Psychology**, v. 11, artigo 363, 6 mar. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.00363> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- CULOTTA E. 1991. Science's 20 Greatest Hits Take Their Lumps. **Science**, 251(4999):1308-1309. [DOI: <http://dx.doi.org/10.1126/science.251.4999.1308>]
- CUNHA, D.G.F.; VECCHIA, F. (2007). As abordagens clássica e dinâmica de clima. **Ciência e Natura**, v. 29, p. 137-149.
- CURRY, J. Impact of AMO/PDO on U.S. regional surface temperatures. *In*: **Climate Etc. [blog]**. [S.l.], 30 jun. 2015. Disponível em: <https://judithcurry.com/2015/06/30/impact-of-amopdo-on-u-s-regional-surface-temperatures/> – Acesso em: 06 mai. 2021.
- CYCLONE**. *In*: Dictionary.com, 2020. Disponível em: <http://www.dictionary.com/browse/cyclone?s=t> – Acesso em: 05 abr. 2020.
- CYCLUS**. *In*: WIKTIONARY, the free dictionary, 2020. Disponível em: <https://en.wiktionary.org/wiki/cyclus> – Acesso em: 05 abr. 2020.
- D'ALEO, J.; EASTERBROOK, D.J. Multidecadal tendencies in Enso and global temperatures related to multidecadal oscillations. **Energy & Environment**, v. 21, n. 5, p. 436-460, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1260/0958-305X.21.5.437> – Acesso em: 22 abr. 2021.
- DACIER, A. **The Life of Pythagoras**: With His Symbols and Golden Verses. Together with the Life of Hierocles, and His Commentaries Upon the Verses. Collected Out of the Choicest Manuscripts, and Tr. Into French, with Annotations. London: 1707. Disponível em: <https://archive.org/details/lifepythagorasw00hiergoog/> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- DANTAS, J. D.; CRUZ, S. D. A. Um olhar físico sobre a teoria musical. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 41, n. 1, p. e20180099, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2018-0099> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- DARRIGOL, O. The acoustic origins of Harmonic Analysis. **Archive for History of Exact Sciences**, v. 61, n. 4, p. 343–424, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00407-007-0003-9> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- DARRIGOL, O. The acousticoriginsofharmonicanalysis. **Archive for History of Exact Sciences**, v. 61, n. 4, jul. 2007, p. 343-424. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/41134260> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- DAVIS B.A.S.; BREWER S. 2011. A unified approach to orbital, solar, and lunar forcing based on the Earth's latitudinal insolation/temperature gradient. **Quaternary Science Reviews**. 30(15–16):1861-1874. [DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.quascirev.2011.04.016>]
- DAVIS M.; HUT P.; MULLER R.A. 1984. Extinction of species by periodic comet showers. **Nature**. 308(5961):715-717. [DOI: <http://dx.doi.org/10.1038/308715a0>]
- DAYRELL, C.; URRY, J. Mediating climate politics: The surprising case of Brazil. **European Journal of Social Theory**, v. 18, n. 3, p. 257–273, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1177/1368431015579962> – Acesso em: 22 abr. 2021.
- DEININGER, M.; WARD, B.M.; NOVELLO, V.F. et al. Late Quaternary Variations in the South American Monsoon System as Inferred by Speleothems—New Perspectives Using the SISAL Database. **Quaternary**, v. 2, n. 1, artigo n. 6, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/quat2010006> – Acesso em: 06 mai. 2021.
- DELINGPOLE, J. **'We Are All So Totally Going to Die'** — **New York Magazine Hits Peak Climate Alarmism**. [S.l.]: Breitbart, 11 jul. 2017. Disponível em: <https://www.breitbart.com/politics/2017/07/11/delingpole-we-are-all-so-totally-going-to-die-new-york-magazine-hits-peak-climate-alarmism/> – Acesso em: 29 mar. 2021.
- DEMİRCİ, K.; AKGÖNÜL, M.; AKPINAR, A. Relationship of smartphone use severity with sleep quality, depression, and anxiety in university students. **Journal of Behavioral Addictions**, v. 4, n. 2, p. 85-92, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1556/2006.4.2015.010> – Acesso em: 05 abr. 2021.

- DESONIE D. 2008. **Climate: Causes and Effects of Climate Change**. New York: Chelsea House. 199 p. [ISBN 978-0-8160-6214-0]
- DESTRÉE, P.; GIANNPOULOU, Z. **Plato's Symposium: a critical guide**. Cambridge, United Kingdom New York, NY: Cambridge University Press, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/9781316273166> – Acesso em: 05 abr. 2021. [ISBN 978-1-107-11005-2].
- DIAZ, H. F. et al. Spatial and Temporal Characteristics of Climate in Medieval Times Revisited. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 92, n. 11, p. 1487–1500, nov. 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1175/BAMS-D-10-05003.1> – Acesso em: 12 mai. 2021.
- DICIONARIO DA REAL ACADEMIA GALEGA. **Análise**. [S./]: Royal Galician Academy, 2021. Disponível em: <https://academia.gal/diccionario/-/termo/busca/an%C3%A1lise> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- DICIONÁRIO ETIMOLÓGICO. **Sazonal**. [S./], 2021. Disponível em: <https://www.dicionarioetimologico.com.br/sazonal/> – Acesso em: 12 mai. 2021.
- DICIONÁRIO NORMATIVO VALENCIANO. **Combinar**. [S./]: Acadèmia Valenciana de la Llengua, 2021. Disponível em: <http://www.avl.gva.es/lexicval/xhtml/dnv.xhtml?paraula=combinar#> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- DICKEY J.O.; MARCUS S.L.; de VIRON O. 2011. Air Temperature and Anthropogenic Forcing: Insights from the Solid Earth. **Journal of Climate**. **24**(2):569-574. [DOI: <http://dx.doi.org/10.1175/2010JCLI3500.1>]
- DIGITAL DIATRIBES. Deconstructing the HadCrut Data. *In: Digital Diatribes [blog]*. [S./], 10 fev. 2009. Disponível em: <https://digitaldiatribes.wordpress.com/2009/02/10/deconstructing-the-hadcrut-data/> – Acesso em: 01 mai. 2021.
- DJEHOITY. **Egyptian Museum, Cairo**: Material from the tomb treasure of king Tutankhamun, 18th dynasty, New Kingdom of Egypt. [S./], 2016. Disponível em: [https://en.wikipedia.org/wiki/File:%C3%84gyptisches\\_Museum\\_Kairo\\_2016-03-29\\_Tutanchamun\\_Grabschatz\\_09.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/File:%C3%84gyptisches_Museum_Kairo_2016-03-29_Tutanchamun_Grabschatz_09.jpg) – Acesso em: 05 abr. 2021.
- DJSADHU. **The helical model - our Galaxy is a vortex**. Youtube, 25 jan. 2013. URL: <<https://youtu.be/C4V-oolTrws>>. Acesso: 25.05.2017.
- DJSADHU. **The helical model - our solar system is a vortex**. Youtube, 24 ago. 2012. URL: <[https://youtu.be/0jHsq36\\_NTU](https://youtu.be/0jHsq36_NTU)>. Acesso: 25.05.2017.
- DODDS, W. **The World's Worst Problems**. Cham: Springer International Publishing, 2019. **E-book**. ISBN 9783030304102. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-30410-2> – Acesso em: 29 mar. 2021.
- DOHERTY, T.J.; CLAYTON, S. The Psychological Impacts of Global Climate Change. **American Psychologist**, v. 66, n. 4, p. 265-276, mai./jun., 2011. Disponível em: – <https://doi.org/10.1037/a0023141> – Acesso em: 29 mar. 2021.
- DOIRON, H.H. **A Simple Climate Model Validated with 165 Years of Climate Data**. [S./]: The Right Climate Stuff Research Team, 20 nov. 2015b. Disponível em: <https://web.archive.org/web/20190630232640/https://files.texaspolicy.com/uploads/2018/08/14153347/Doiron-Panel-V.pdf> – Acesso em: 01 mai. 2021.
- DOIRON, H.H. **An Objective Look At The Global Warming Controversy**. [S./]: The Right Climate Stuff Research Team, 21 set. 2015a. Disponível em: <http://nebula.wsimg.com/319a037901edf5a399df825c264b8a75?AccessKeyld=4E2A86EA65583CBC15DE&disposition=0&alloworigin=1> | ou | <https://www.therightclimatestuff.com/trcs-reports.html> – Acesso em: 01 mai. 2021.
- DOIRON, H.H. **Bounding GHG Climate Sensitivity for Use in Regulatory Decisions**: Executive Summary. Houston: The Right Climate Stuff Research Team, fev. 2014a. Disponível em: <https://nebula.wsimg.com/821c3d8164fb00815dd891723cc26ec2?AccessKeyld=4E2A86EA65583CBC15DE&disposition=0&alloworigin=1> | ou | <https://www.therightclimatestuff.com/trcs-reports.html> – Acesso em: 01 mai. 2021.
- DOIRON, H.H. **Bounding GHG Climate Sensitivity for Use in Regulatory Decisions**. Houston: The Right Climate Stuff Research Team, fev. 2014b. Disponível em: <https://nebula.wsimg.com/4fa8733209089fc0ed36165b8de8206c?AccessKeyld=4E2A86EA65583CBC15DE&disposition=0&alloworigin=1> | ou | <https://www.therightclimatestuff.com/trcs-reports.html> – Acesso em: 01 mai. 2021.
- DOMÍNGUEZ, M. **Bill Gates**: 'climate change is harder to solve than the pandemic but the negative effects are much greater'. [S./]: El País, 19 fev. 2021. Disponível em: <https://english.elpais.com/usa/2021-02-19/bill-gates-climate-change-is-harder-to-solve-than-the-pandemic-but-the-negative-effects-are-much-greater.html> – Acesso em: 29 mar. 2021.
- DONGARRA, J.; SULLIVAN, F. Guest Editors Introduction to the top 10 algorithms. **Computing in Science & Engineering**, v. 2, n. 1, p. 22–23, jan. 2000. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1109/MCISE.2000.814652> – Acesso em: 12 mai. 2021.
- DÖRRIES, M. Climate catastrophes and fear. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change**, v. 1, n. 6, nov./dez.; 2010.
- DOTT Jr. R.H. 1992. An introduction to the ups and downs of eustasy. *In: Dott Jr. R.H. ed. 1992. Eustasy: the historical ups and downs of a major geological concept. Geological Society of America Memoir*, **180**:1-16. [DOI: <http://dx.doi.org/10.1130/MEM180-p1>]
- DRESSER, S. **How we became weekly**. [S./]: AEON, 2021. [online]. Disponível em: <https://aeon.co/essays/how-we-came-to-depend-on-the-week-despite-its-artificiality> – Acesso em: 06 dez. 2021.

- DUBITANDO ad veritatem pervenimus.** //: Dicionário de Latim. [S./], 2021. Disponível em: <https://www.dicionariodelatim.com.br/dubitando-ad-veritatem-pervenimus/> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- DUPUY, K.; RUSTAD, S.A. **Trends in Armed Conflict, 1946–2017.** Conflict Trends. Oslo: Peace Research Institute Oslo (PRIO), mai. 2018. Disponível em: <https://www.prio.org/Publications/Publication/?x=11181> – Acesso em: 29 mar. 2021.
- DVORSKY G. 2016. **A inclinação estranha do nosso Sol pode significar que o Planeta 9 realmente existe.** Gizmodo Brasil. 21 out. 2016. URL: <<http://gizmodo.uol.com.br/inclinacao-sol-planeta-9/>>. Acesso: 01.05.2017.
- EASTERBROOK, D. **Solar Influence on Recurring Global, Decadal, Climate Cycles Recorded by Glacial Fluctuations, Ice Cores, Sea Surface Temperatures, and Historic Measurements Over the Past Millennium.** San Francisco: Abstracts of American Geophysical Union annual meeting, dez. 2008. Disponível em: <https://wattsupwiththat.com/2008/12/29/don-easterbrooks-agu-paper-on-potential-global-cooling/> – Acesso em: 26 abr. 2021.
- EASTERBROOK, D.J. (ed.) **Evidence-based climate science: data opposing CO<sub>2</sub> emissions as the primary source of global warming.** Amsterdam: Elsevier, 2011. ISBN 9780123859563. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/C2010-0-67154-9> – Acesso em: 22 abr. 2021.
- EASTERBROOK, D.J. (ed.) **Evidence-based climate science: data opposing CO<sub>2</sub> emissions as the primary source of global warming.** 2. ed. Amsterdam: Elsevier, 2016. ISBN 9780128045886. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/C2015-0-02097-4> – Acesso em: 22 abr. 2021.
- EASTERBROOK, D.J. **Causes and Effects of Late Pleistocene, Abrupt, Global, Climate Changes and Global Warming.** Geological Society of America Abstracts with Program, v. 37, n. 7, p. 41, 2005. Disponível em: <https://gsa.confex.com/gsa/2005AM/webprogram/Paper95510.html> – Acesso em: 22 abr. 2021.
- EASTERBROOK, D.J. **PUBLICATIONS.** [S./], 2017. Disponível em: [http://myweb.wvu.edu/dbunny/pdfs/djeasterbrook\\_publications\\_2017.pdf](http://myweb.wvu.edu/dbunny/pdfs/djeasterbrook_publications_2017.pdf) | ou | [http://myweb.wvu.edu/dbunny/djeasterbrook\\_publications.html](http://myweb.wvu.edu/dbunny/djeasterbrook_publications.html) – Acesso em: 12 mai. 2021.
- EASTERBROOK, D.J. **The Cause of Global Warming and Predictions for the Coming Century.** Geological Society of America Abstracts with Program, v. 38, n. 7, p. 235, 2006. Abstract disponível em: <https://gsa.confex.com/gsa/2006AM/webprogram/Paper108164.html> | Apresentação correspondente disponível em: <http://gsa.confex.com/gsa/responses/2006AM/215.ppt> – Acesso em: 22 abr. 2021.
- EASTERBROOK, D.J. **The Next 25 Years: Global Warming or Global Cooling? – Geologic and Oceanographic Evidence for Cyclical Climatic Oscillations.** Geological Society of America Abstracts with Program, v. 33, n. 6, p. 1503, 2001. Disponível em: <https://gsa.confex.com/gsa/2001AM/webprogram/Paper28039.html> – Acesso em: 22 abr. 2021.
- EASTERLING, D.R.; WEHNER, M.F. Is the climate warming or cooling? **Geophysical Research Letters**, v. 36, n. 8, L08706, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1029/2009GL037810> – Acesso em: 26 abr. 2021.
- ECOPHOBIA.** //: WIKIPÉDIA: a enciclopédia livre. Wikimedia, 2021. Disponível em: <https://en.wikipedia.org/wiki/Ecophobia> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- EDWARDS, T. **The lukewarmers don't deny climate change. But they say the outlook's fine.** [S./]: The Guardian, 3 mai. 2015. Disponível em: <https://amp.theguardian.com/science/2015/may/03/climate-change-scepticism-denial-lukewarmers> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- ELIAS S.A. (ed.). 2006. **Encyclopedia of Quaternary Science.** 1ª ed. Amsterdam: Elsevier. 3576 p. [ISBN 978-0-444-52747-9]
- ELKS, S. **Children suffering eco-anxiety over climate change, say psychologists.** London: Thomson Reuters Foundation, 19 set. 2019. Disponível em: <https://www.reuters.com/article/us-britain-climate-children-idUSKBN1W42CF> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- ENCYCLOPAEDIA BRITANNICA. **Ouroboros.** [S./], set. 2020. Disponível em: <https://www.britannica.com/topic/Ouroboros> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- ENGEL A.E.G.; ENGEL C.B. 1964. Continental accretion and the evolution of North America. //: Subramaniam A.P.; Balakrishna S. (eds.). 1964. **Advancing frontiers in geology and geophysics: Indian Geophysical Union.** Hyderabad. p. 17-37. [511 p.]
- ERLYKIN A.D.; HARPER D.A.T.; SLOAN T.; WOLFENDALE A.W. 2017. Mass extinctions over the last 500 myr: an astronomical cause? **Palaeontology**. **60**(2):159-167. [DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/pala.12283>]
- ERMAN, A.; TIRARD, H.M. **Life in ancient Egypt.** London, New York: Macmillan, 1894. ISBN 052402300X
- ERWIN D.H. 1993. **The Great Paleozoic Crisis: Life and Death in the Permian.** New York: Columbia University Press. [ISBN 0231074662; 327 p.]
- ETKIN, D.; HO, E. Climate Change: Perceptions and Discourses of Risk. **Journal of Risk Research**, v. 10, n. 5, p. 623-641, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/13669870701281462> – Acesso em: 29 mar. 2021.
- EU SCIENCE HUB. Last decade's slow-down in global warming enhanced by an unusual climate anomaly. [S./]: EU Science Hub, 9 ago. 2016. Disponível em: <https://ec.europa.eu/jrc/en/news/climate-anomaly-causes-global-warming-slow-down> – Acesso em: 03 mai. 2021.
- EURASIA GROUP. **Top Risks 2020 – Coronavirus Edition.** New York: Eurasia Group, 6 jan. 2020b. Disponível em: <https://www.eurasiagroup.net/live-post/top-risks-2020-coronavirus-edition> | ou | [https://www.eurasiagroup.net/files/upload/top\\_risks\\_2020\\_coronavirus\\_edition\\_1.pdf](https://www.eurasiagroup.net/files/upload/top_risks_2020_coronavirus_edition_1.pdf) – Acesso em: 05 abr. 2021.

- EURASIA GROUP. **Top Risks 2020**. New York: Eurasia Group, 6 jan. 2020a. Disponível em: <https://www.eurasiagroup.net/issues/top-risks-2020> | ou | [https://www.eurasiagroup.net/files/upload/Top\\_Risks\\_2020\\_Report\\_1.pdf](https://www.eurasiagroup.net/files/upload/Top_Risks_2020_Report_1.pdf) – Acesso em: 05 abr. 2021.
- EURASIA GROUP. **Top Risks 2021**. New York: Eurasia Group, 4 jan. 2021. Disponível em: <https://www.eurasiagroup.net/issues/top-risks-2021> | ou | <https://www.eurasiagroup.net/files/upload/top-risks-2021-full-report.pdf> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- EWING, J.H. **A century of mathematics**: through the eyes of the Monthly. Washington, D.C: Mathematical Association of America, 1994. [ISBN 0-88385-459-7].
- FAIRBRIDGE, R.W. Brückner cycle. //: REINHOLD, V.N. (ed.). **Climatology**. Boston: Springer, 1987. Disponível em: [https://doi.org/10.1007/0-387-30749-4\\_31](https://doi.org/10.1007/0-387-30749-4_31) – Acesso em: 06 mai. 2021.
- FALK, P. “War on nature” is “suicide” and climate action needs American leadership, U.N. chief says. [S.l.]: CBS News, 2 dez. 2020. Disponível em: <https://www.cbsnews.com/news/climate-action-american-leadership-un-secretary-general-antonio-guterres/> – Acesso em: 29 mar. 2021.
- FAN, X.; DUAN, Q; SHEN, C.; WU, Y. et al. Global surface air temperatures in CMIP6: historical performance and future changes. **Environmental Research Letters**, v. 15, n. 10, artigo n. 104056, 01 out. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abb051> – Acesso em: 26 abr. 2021.
- FAO. **The State of World Fisheries and Aquaculture**. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2002. ISBN 9251048428. Disponível em: <http://www.fao.org/3/y7300e/y7300e00.htm> – Acesso em: 22 abr. 2021.
- FARNETI, R. Modelling interdecadal climate variability and the role of the ocean. **WIREs Climate Change**, v. 8, n. 1, artigo n. e441, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/wcc.441> – Acesso em: 03 mai. 2021.
- FAUSTINONI J.M.; CARNEIRO C.D.R. 2015. Movimentos da crosta e relações entre Tectônica e dinâmica atmosférica. **Terræ Didática**, 11(3):173-181. [http://www.ige.unicamp.br/terraedidatica/v11\\_3/113-5-.html](http://www.ige.unicamp.br/terraedidatica/v11_3/113-5-.html). Acesso 20.12.2015.
- FELICIO, R.A. “Mudanças Climáticas” e “Aquecimento Global” – Nova Formatação e Paradigma para o Pensamento Contemporâneo? **Ciência e Nature**, v. 36 ed. especial, p. 257–266, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5902/2179460X13221> – Acesso em: 29 mar. 2021.
- FELÍCIO, R.A.; ONÇA, D. S. “Aquecimento global”, “mudanças climáticas” e “caos ambiental” justificando o falso “desenvolvimento sustentável”: a Teoria da Tríade. **Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 6, n. 8, p. 585-605, 2010. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.17271/1980082768201044> – Acesso em: 29 mar. 2021.
- FELLENOR, J, BARNETT, J.; POTTER, C.; URQUHART, J. et al. The social amplification of risk on Twitter: the case of ash dieback disease in the United Kingdom. **Journal of Risk Research**, v. 21, n. 10, p. 1163-1183, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/13669877.2017.1281339> – Acesso em: 29 mar. 2021.
- FENLON, I.; WISTREICH, R. **The Cambridge history of sixteenth-century music**. Cambridge, United Kingdom New York, NY: Cambridge University Press, 2019. [ISBN 978-0-521-19594-2].
- FERNÁNDEZ-DONADO, L. et al. Large-Scale Temperature Response to External Forcing in Simulations and Reconstructions of the Last Millennium. **Climate of the Past**, v. 9, n. 1, p. 393–421, 14 fev. 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5194/cp-9-393-2013> – Acesso em: 12 mai. 2021.
- FIEDLER, B. (2009). [Professor of Meteorology, National Weather Center, University of Oklahoma] **Milankovitch Cycles, Orbit, and Cores**. [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <marcos.jose@gmail.com> em 12 dez. 2009. [Com citação das fontes originais de dados, imagem também disponível em: <<http://en.wikipedia.org/wiki/File:MilankovitchCyclesOrbitandCores.png>> . Acesso: março de 2012.
- FISCHER A.G. 1981. Climatic oscillations in the biosphere. //: Nitecki M.H. (ed.). 1981. **Biotic crises in ecological and evolutionary time**. New York: Academic Press. p. 103-131. [ISBN 0125196407; 314 p.]
- FISCHER A.G. 1982. Long-Term Climatic Oscillations Recorded in Stratigraphy. //: National Research Council. 1982. **Climate in Earth History: Studies in Geophysics**. Washington, DC: The National Academies Press. p. 97-105. [ISBN 0309107849; 212 p.]
- FISCHHOFF, B.; SLOVIC, P.; LICHTENSTEIN, S. et al. How safe is safe enough? A psychometric study of attitudes towards technological risks and benefits. **POLICY SCIENCES**, v. 9, p. 127–152, 1978. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/BF00143739> – Acesso em: 29 mar. 2021.
- FLAMMARION. //: WIKIMEDIA COMMUNS, 2021. Disponível em: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Flammarion.jpg> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- FLAMMARION-3. //: WIKIMEDIA COMMUNS, 2021. Disponível em: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Flammarion-3.jpg> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- FLEMING, J.R. Joseph Fourier, the ‘Greenhouse Effect’, and the quest for a universal theory of terrestrial temperatures. **Endeavour**, v. 23, n. 2, p. 72–75, 1999. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0160-9327\(99\)01210-7](https://doi.org/10.1016/S0160-9327(99)01210-7) – Acesso em: 05 abr. 2021.
- FLEMING, W. **The vocabulary of philosophy**: mental, moral, and metaphysical. London: R. Griffin and Company, 1858. Disponível em: <https://archive.org/details/vocabularyofphil00fi> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- FLOOD, R.; ROBIN J.W. **Great mathematicians**. New York, NY: Rosen Publishing, 2013. [ISBN 978-1477704028].

- FLORIDES G.A.; Christodoulides P. 2009. Global warming and carbon dioxide through sciences. **Environment International**. 35(2):390-401. [DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envint.2008.07.007>]
- FLUDD, R. **De Metaphysico Macrocosmi et creaturarum**[m]. [S.]: 1617. Disponível em: <http://www.deutschefotothek.de/documents/obj/88966469> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- FOURIER. **The Analytical Theory of Heat**. Cambridge: Cambridge University Press, 2009. ISBN 978-1-108-00178-6.
- FOX-GLASSMAN, K.T.; WEBER, E.U. What makes risk acceptable? Revisiting the 1978 psychological dimensions of perceptions of technological risks. **Journal of Mathematical Psychology**, v. 75, p. 157-169, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jmp.2016.05.003> – Acesso em: 29 mar. 2021.
- FRACCALVIERI, B. **Emergência climática: o tempo está se esgotando, adverte o Papa**. Cidade do Vaticano: Vatican News, 14 jun. 2019. Disponível em: <https://www.vaticannews.va/pt/papa/news/2019-06/papa-francisco-casa-comum-emergencia-climatica.html> – Acesso em: 29 mar. 2021.
- FRAKES L.A.; FRANCIS J.E.; SYKTUS J.I. 1992. **Climate Modes of the Phanerozoic**. Cambridge: Cambridge Univ. Press. [ISBN 9780521021944; 274 p.]
- FRAKNOI, A. Interdisciplinary Approaches to Astronomy: The Music of the Spheres (Part 2). **CAPjournal**, n. 20, p. 14-18, ago. 2016. Disponível em: [https://www.capijournal.org/issues/20/20\\_14.php](https://www.capijournal.org/issues/20/20_14.php) – Acesso em: 05 abr. 2021.
- FRAKNOI, A. The Music of the Spheres in Education: Using Astronomically Inspired Music. **The Astronomy Education Review**, v. 5, n.1, p. 139-153, 2007.
- FRANCISCO. **Discurso do papa Francisco aos dirigentes de empresas petrolíferas participantes no diálogo sobre o tema: a transição energética e a tutela da casa comum**. Casina Pio IV: Libreria Editrice Vaticana, 14 jun. 2019b. Disponível em: [http://www.vatican.va/content/francesco/pt/speeches/2019/june/documents/papa-francesco\\_20190614\\_compagnie-petrolifere.html](http://www.vatican.va/content/francesco/pt/speeches/2019/june/documents/papa-francesco_20190614_compagnie-petrolifere.html) – Acesso em: 29 mar. 2021.
- FRANCISCO. **Discurso do papa Francisco na conferência sobre “mudanças climáticas e novas evidências da ciência, engenharia e política”**. Casina Pio IV: Libreria Editrice Vaticana, 27 mai. 2019a. Disponível em: [http://www.vatican.va/content/francesco/pt/speeches/2019/may/documents/papa-francesco\\_20190527\\_climate-change.html](http://www.vatican.va/content/francesco/pt/speeches/2019/may/documents/papa-francesco_20190527_climate-change.html) – Acesso em: 29 mar. 2021.
- FRANCISCO. **Mensagem do Papa Francisco à 23ª sessão da Conferência dos Estados-Parte da Convenção-Quadro das Nações Unidas Sobre as Mudanças Climáticas (COP23)**. Bonn: Libreria Editrice Vaticana, 7 nov. 2017. Disponível em: [http://www.vatican.va/content/francesco/pt/messages/pont-messages/2017/documents/papa-francesco\\_20171107\\_messaggio-cambiamenti-climatici.html](http://www.vatican.va/content/francesco/pt/messages/pont-messages/2017/documents/papa-francesco_20171107_messaggio-cambiamenti-climatici.html) – Acesso em: 29 mar. 2021.
- FREETH, T. et al. Decoding the ancient greek astronomical calculator known as the antikythera mechanism. **Nature**, v. 444, n. 7119, p. 587–591, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/nature05357> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- FRENCH B.M. 1998. **Traces of Catastrophe: A Handbook of Shock-Metamorphic Effects in Terrestrial Meteorite Impact Structures**. LPI Contribution No. 954. Houston: Lunar and Planetary Institute. [120 p.]
- FRIEDRICH Von Hayek. Prize Lecture. //: The Nobel Prize. [S.], 2021. Disponível em: <https://www.nobelprize.org/prizes/economic-sciences/1974/hayek/lecture/> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- FYFE, J.; GILLET, N.; ZWIERS, F. Overestimated global warming over the past 20 years. **Nature Climate Change**, v. 3, p. 767–769. 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/nclimate1972> – Acesso em: 26 abr. 2021.
- FYFE, J.; MEEHL, G.; ENGLAND, M. et al. Making sense of the early-2000s warming slowdown. **Nature Clim Change** 6, 224–228 (2016). <https://doi.org/10.1038/nclimate2938>
- G1. **Secretário-geral da ONU pede que o mundo declare estado de emergência climática**. [S.]: G1. Globo. Jornal Nacional, 12 dez. 2020. Disponível em: <https://g1.globo.com/jornal-nacional/noticia/2020/12/12/secretario-geral-da-onu-pede-que-o-mundo-declare-estado-de-emergencia-climatica.ghtml> – Acesso em: 29 mar. 2021.
- GAFFURIUS, F. **Practica musicae**. Milano: Guillaume Le Signerre, per Giovanni Pietro da Lomazzo, 1496. Disponível em: <https://archive.org/details/ita-bnc-in2-00000021-001/page/n10/mode/2up> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- GAFFURIUS, F. **Theorica mvsice Franchini Gafvri lavdensis**. Milan: Philippus de Mantegatiis, Cassanus, for Johannes Petrus de Lomatío, 1492. Recuperado da Biblioteca do Congresso dos EUA. Disponível em: [www.loc.gov/item/27020861/](http://www.loc.gov/item/27020861/) – Acesso em: 05 abr. 2021.
- GAGLIONI, C. **A divisão do tempo em semanas, segundo historiadores**. [S.]: Nexo: 2021. [online]. Disponível em: <https://www.nexojournal.com.br/expresso/2021/12/06/A-divis%C3%A3o-do-tempo-em-semanas-segundo-historiadores> – Acesso em: 06 dez. 2021.
- GALÁXIA DO RODAMONHO**. //: WIKIPEDIA, a enciclopédia livre, 2020. Disponível em: [https://pt.wikipedia.org/wiki/Gal%C3%A1xia\\_do\\_Rodamoinho](https://pt.wikipedia.org/wiki/Gal%C3%A1xia_do_Rodamoinho) – Acesso em: 05 abr. 2020.
- GALLUP. **Americans' Views on Global Warming, 2019 (Trends)**. [S.]: Gallup, 2019. Disponível em: <https://news.gallup.com/poll/248030/americans-views-global-warming-2019-trends.aspx> – Acesso em: 29 mar. 2021.

- GALWAY, L.P.; BEERY, T.; JONES-CASEY, K.; TASALA, K. Mapping the Solastalgia Literature: A Scoping Review Study. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 16, n. 15: artigo n. 2662, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijerph16152662> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- GANAPATHIRAJU, A.; HAMAKER, J.; PICONE, J.; SKJELLUM, A. **A Comparative Analysis Of FFT Algorithms**. Mississippi: Mississippi State University, 1999. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/2510663\\_A\\_Comparative\\_Analysis\\_Of\\_FFT\\_Algorithms](https://www.researchgate.net/publication/2510663_A_Comparative_Analysis_Of_FFT_Algorithms) – Acesso em: 05 abr. 2021.
- GAO, J.; CHENG, Q.; DUAN, J.; XU Z. et al. Ambient temperature, sunlight duration, and suicide: A systematic review and meta-analysis. **Science of the Total Environment**, v. 646, p. 1021-1029, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.098> – Acesso em: 29 mar. 2021.
- GARCIA, D. **Desemprego no Brasil é o pior em quase 30 anos, diz consultoria**. [S.]: Folha de São Paulo, 30 set. 2020. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/mercado/2020/09/desemprego-no-brasil-e-o-pior-em-quase-30-anos-diz-consultoria.shtml> – Acesso em: 13 abr. 2021.
- GARCIA, R. Neurobiology of fear and specific fobias. **Learning Memory**, v. 24, n. 9, p. 462-471, set. 2017. <https://dx.doi.org/10.1101/2Fm.044115.116>
- GARDE A.A.; MCDONALD I.; DYCK B.; KEULEN N. 2012. Searching for giant, ancient impact structures on Earth: The Mesoarchaean Maniitsoq structure, West Greenland. **Earth and Planetary Science Letters**. 337-338:197-210. [DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.epsl.2012.04.026>]
- GATES, B. **How to avoid a climate disaster: the solutions we have and the breakthroughs we need**. New York : Doubleday, 2021. **E-book**. ISBN 9780385546140.
- GAUGIER, C.L. **Measuring heaven: Pythagoras and his influence on thought and art in antiquity and the Middle Ages**. Ithaca: Cornell University Press, 2006. [ISBN 978-0801474095].
- GEIKIE Sir A. 1962. **The founders of Geology**. New York: Dova. 486 p.
- GERVAIS, F. Anthropogenic CO<sub>2</sub> warming challenged by 60-year cycle. **Earth-Science Reviews**, v. 155, p. 129-135, abr. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2016.02.005> – Acesso em: 26 abr. 2021.
- GERVAIS, F. Tiny warming of residual anthropogenic CO<sub>2</sub>. **International Journal of Modern Physics B**, v. 28, n. 13, p. 1450095, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1142/S0217979214500957> – Acesso em: 26 abr. 2021.
- GHILL, M. (2002). Natural Climate Variability. /n: MUNN, T. (editor). **The Earth system: physical and chemical dimensions of global environmental change. Volume 1, The Earth system: physical and chemical dimensions of global environmental change** [MACCRACKEN, M.C.; PERRY, J.S. (editores)], p. 544-549.
- GHOSH, P. Caution urged on climate 'risks'. [S.]: BBC News, 17 mar. 2007. Disponível em: <http://news.bbc.co.uk/2/hi/6460635.stm> – Acesso em: 29 mar. 2021.
- GIBNEY E. 2014. **Did dark matter kill the dinosaurs?** Nature News. 07 mar. 2014. URL: <<http://www.nature.com/news/did-dark-matter-kill-the-dinosaurs-1.14839>>. Acesso: 30.04.2017.
- GIES D.R.; HELSEL J.W. 2005. Ice Age Epochs and the Sun's Path through the Galaxy. **The Astrophysical Journal**. 626(2):844-848. [DOI: <http://dx.doi.org/10.1086/430250>]
- GIFFORD, E.; GIFFORD, R. The largely unacknowledged impact of climate change on mental health. **Bulletin of the Atomic Scientists**, v. 72, n. 5, p. 292-297, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1080/00963402.2016.1216505> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- GILES, J. Internet encyclopaedias go head to head. **Nature**, v. 438, p. 900-901, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/438900a> – Acesso em: 29 mar. 2021.
- GILLESPIE, S. **Shakespeare's books: a dictionary of Shakespeare sources**. London: Athlone, 2001. [ISBN 0485115603].
- GILLMAN M.; ERENLER H. 2008. The galactic cycle of extinction. **International Journal of Astrobiology**. 7(1):17-26. [DOI: <http://dx.doi.org/10.1017/S1473550408004047>]
- GINGRAS, B. Johannes Kepler's Harmonice mundi: A "Scientific" version of the Harmony of the Spheres. **Journal of the Royal Astronomical Society of Canada**, v. 97, n. 5, p. 228, 2003. Disponível em: <https://www.rasc.ca/jrasc-2003-10> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- GIORGIO. 2013a. **Southern Oscillation Index**. URL: <<http://en.wikipedia.org/wiki/File:Soi.svg>>. Acesso: 29.11.2015. [Dados originais – URL: <<http://www.bom.gov.au/climate/current/soihtm1.shtml>>].
- GIORGIO. 2013b. **Pacific Decadal Oscillation Index**. URL: <<http://en.wikipedia.org/wiki/File:PDO.svg>>. Acesso: 29.11.2015. [Dados originais – URL: <<http://jisao.washington.edu/pdo/PDO.latest>>].
- GIORGIO. 2013c. **Atlantic Multidecadal Oscillation**. URL: <[http://en.wikipedia.org/wiki/File:Atlantic\\_Multidecadal\\_Oscillation.svg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Atlantic_Multidecadal_Oscillation.svg)>. Acesso: 29.11.2015. [Dados originais – URL: <[http://climexp.knmi.nl/data/iamo\\_ersst.dat](http://climexp.knmi.nl/data/iamo_ersst.dat)>].
- GIRIDHARADAS, A. **To solve everything, solve climate**. A conversation with Varshini Prakash, leader of the Sunrise Movement. [S.]: The.Ink, 1 set. 2020. Disponível em: <https://the.ink/p/to-solve-everything-solve-climate> – Acesso em: 05 abr. 2021.



- GIULIO, G.M.; VASCONCELLOS, M.P.; GÜNTHER, W.M.R.; RIBEIRO, H. ASSUNÇÃO, J.V. Percepção de risco: um campo de interesse para a interface ambiente, saúde e sustentabilidade. *Saúde e Sociedade*, v. 24, n.4, p.1217-1231, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0104-12902015136010> – Acesso em: 29 mar. 2021.
- GOMES R.S.; SOARES J.S. 2012. Signatures of a Putative Planetary Mass Solar Companion on the Orbital Distribution of TNO's and Centaurs. *American Astronomical Society*, DDA meeting #43, #5.01.
- GONZÁLEZ, G. Series de Fourier, Transformadas de Fourier y Aplicaciones. *Divulgaciones Matemáticas*, v. 5, n. 1/2, p. 43–60, 1997. Disponível em: <http://emis.icm.edu.pl/journals/DM/v5/art6.pdf> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- GONZÁLEZ-ROUICO, F. J. et al. Medieval Climate Anomaly to Little Ice Age transition as simulated by current climate models. *PAGES news*, v. 19, n. 1, p. 7–8, mar. 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.22498/pages.19.1.7> – Acesso em: 12 mai. 2021.
- GOOSSE, H. et al. The Role of Forcing and Internal Dynamics in Explaining the “Medieval Climate Anomaly”. *Climate Dynamics*, v. 39, n. 12, p. 2847–2866, 4 fev. 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s00382-012-1297-0> – Acesso em: 12 mai. 2021.
- GORE. A. **Al Gore – Nobel Lecture**. Oslo: The Nobel Prize, 10 dez. 2007. Disponível em: <https://www.nobelprize.org/prizes/peace/2007/gore/26118-al-gore-nobel-lecture-2007/> – Acesso em: 13 abr. 2021.
- GORNITZ V. ed. 2009. **Encyclopedia of Paleoclimatology and Ancient Environments**. Encyclopedia of Earth Sciences Series. Dordrecht: Springer. 1049 p. [ISBN 978-1-4020-4551-6]
- GOUDIE A.S. 2005. Paleoclimatology. //: Oliver J.E. (ed.). 2005. **Encyclopedia of World Climatology**. Dordrecht: Springer. p. 564-571. [ISBN 978-1-4020-3264-6]
- GOULD, S.J. 1965. Is Uniformitarianism necessary? *Am. J. Sci.*; 263(3):223-228. [DOI: <http://dx.doi.org/10.2475/ajs.263.3.223>]
- GOULD, S.J. 1967. Is Uniformitarianism useful? //: Cloud P. (ed.). 1970. **Adventures in Earth History**. San Francisco: Freeman. p. 51-53. [ISBN 0716702525]
- GOULD, S.J. 1987. **Seta do tempo, ciclo do tempo**: mito e metáfora na descoberta do tempo geológico. Trad. Maferrari C.A. São Paulo: Cia. das Letras. 221 p. [ISBN 9788571642027]
- GOW, K.S.K. Do concerns about climate change lead to distress? *International Journal of Climate Change Strategies and Management*, v. 2, n. 4, p. 362-379, 2010.
- GOZZA, P. **Number to Sound**: the Musical Way to the Scientific Revolution. Dordrecht: Springer Netherlands, 2000. [ISBN 978-90-481-5358-9].
- GRATTAN-GUINNESS, I. Joseph Fourier and the Revolution in Mathematical Physics. *IMA Journal of Applied Mathematics*, v. 5, n. 2, p. 230–253, jun. 1969. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/imamat/5.2.230> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- GRATTAN-GUINNESS, I. **The development of the foundations of mathematical analysis from Euler to Riemann**. Cambridge: MIT Press, 1970. [ISBN 0262070340].
- GRATTAN-GUINNESS, I.; RAVETZ, J.R. **Joseph Fourier, 1768-1830**: A Survey of His Life and Work, based on a critical edition of his monograph on the propagation of heat, presented to the Institut de France in 1807. Cambridge: MIT, 1972. [ISBN 9780262070416].
- GREEN, A.R.W. **The storm-god in the ancient Near East**. Winona Lake: Eisenbrauns, 2003. (Biblical and Judaic studies; v. 8). ISBN 1575060698.
- GREENPEACE. #Climate. [S.]: Greenpeace, mar. 2021. Disponível em: <https://www.greenpeace.org/international/tag/climate/> – Acesso em: 29 mar. 2021.
- GREENSPAN, M. **Healing through the dark** emotions: the wisdom of grief, fear and despair. 1. ed. Boston: Shambhala Publications, 2004. **E-book**. ISBN 9780834824270.
- GU, Y. et al. From Uncertainty to Anxiety: How Uncertainty Fuels Anxiety in a Process Mediated by Intolerance of Uncertainty. *Neural Plasticity*, v. 2020, artigo n. 8866386, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1155/2020/8866386> – Acesso em: 29 mar. 2021.
- GUEDES, J.; MACIEL, E. Os êxitos e os limites morais do utilitarismo de Bentham: uma abordagem a partir de Sandel. *Aufklärung: Revista De Filosofia*, v. 5, n. 2, p. 109-122, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.18012/arf.2016.41240> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- GUSMÃO, C. O ateliê musical de Claudio Ptolomeu. *Scientiae Studia*, v. 11, n. 4, p. 731–762, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1678-31662013000400002> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- GUTHRIE, K.S.; FIDELER, D. **The Pythagorean sourcebook and library**: an anthology of ancient writings which relate to Pythagoras and Pythagorean philosophy. Grand Rapids: Phanes Press, 1987. [ISBN 0-933999-50-X].
- GUTHRIE, W.F. **NIST/SEMATECH e-Handbook of Statistical Methods (NIST Handbook 151)**. [S.]: National Institute of Standards and Technology, 2020. Disponível em: <https://www.itl.nist.gov/div898/handbook/pmc/section4/pmc4462.htm> | ou | <https://www.itl.nist.gov/div898/handbook/> – Acesso em: 12 mai. 2021.
- HAIGH, I. D.; ELIOT, M.; PATTIARATCHI, C. Global influences of the 18.61 year nodal cycle and 8.85 year cycle of lunar perigee on high tidal levels. *Journal of Geophysical Research*, v. 116, n. C6, 2011. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1029/2010JC006645> – Acesso em: 06 ago. 2021.

- HALBERG, F.; CORNÉLISSEN, G.; BERNHARDT, K.-H. et al. Egeson's (George's) transtridecadal weather cycling and sunspots. **History of Geo and Space Sciences**, v. 1, n. 2, p. 49–61, 2010b. Disponível em: <https://doi.org/10.5194/hgss-1-49-2010> – Acesso em: 06 mai. 2021.
- HALBERG, F.; CORNÉLISSEN, G.; SOTHERN, R.B. et al. Thirty-Five-Year Climatic Cycle in Heliogeophysics, Psychophysiology, Military Politics, and Economics. **Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics**, v. 46, n. 7, p. 844–864, 2010a. Disponível em: <https://doi.org/10.1134/S0001433810070054> – Acesso em: 06 mai. 2021.
- HALLIDAY A.N. 2000. Terrestrial accretion rates and the origin of the Moon. **Earth and Planetary Science Letters**. 176(1):17-30. [DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0012-821X\(99\)00317-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0012-821X(99)00317-9)]
- HAND E. 2016. **Astronomers say a Neptune-sized planet lurks beyond Pluto**. Science. 20 jan. 2016. URL: <<http://www.sciencemag.org/news/2016/01/feature-astronomers-say-neptune-sized-planet-lurks-unseen-solar-system>>. Acesso: 09.02.2016.
- HANDWERK, B. **Europe's Megalithic Monuments Originated in France and Spread by Sea Routes, New Study Suggests**. [S.l.]: Smithsonian magazine, 11 fev. 2019. Disponível em: <https://www.smithsonianmag.com/articles/europe-megalithic-monuments-france-sea-routes-mediterranean-180971467/> – Acesso em: 29 mar. 2021.
- HARPER C.K. 2007. **Weather and Climate: Decade by Decade**. New York: Facts On File, Inc. [ISBN 0816055351; 272 p.]
- HARVARD MEDICAL SCHOOL. **The psychology of risk perception**. [S.l.]: Harvard Health Publishing, jun. 2011. Disponível em: [https://www.health.harvard.edu/newsletter\\_article/the-psychology-of-risk-perception](https://www.health.harvard.edu/newsletter_article/the-psychology-of-risk-perception) – Acesso em: 29 mar. 2021.
- HARVEY, F. **World is in danger of missing Paris climate target, summit is warned**. [S.l.]: The Guardian, 12 dez. 2020. Disponível em: <https://www.theguardian.com/environment/2020/dec/12/world-is-in-danger-of-missing-paris-climate-target-summit-is-warned> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- HASUI Y. 2012. Evolução dos Continentes. //: Hasui Y.; Carneiro C.D.R.; Almeida F.F.M.de, Bartorelli A. (eds). 2012. **Geologia do Brasil**. São Paulo: Ed. Beca. p. 98-111 (Cap. 1). [ISBN 9788562768101; 900 p.]
- HAWKINS, E. **Updated comparison of simulations and observations**. [S.l.]: Climate Lab Book, 8 fev. 2013. Disponível em: <http://www.climate-lab-book.ac.uk/2013/updated-comparison-of-simulations-and-observations/> – Acesso em: 26 abr. 2021.
- HAWKINS, E.; EDWARDS, T. & MCNEALL, D. Pause for thought. *Nature Clim Change* 4, 154–156 (2014). <https://doi.org/10.1038/nclimate2150>
- HAWKINS, E.; JONES, P. D. On increasing global temperatures: 75 years after Callendar. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 139, n. 677, p. 1961–1963, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/qj.2178> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- HECHT L. 1993-1994. The Coming (or Present) Ice Age. A long-term perspective on the current global warming fad. **21<sup>st</sup> Century**, Winter: 23-35. URL: <<http://21scitech.com/Articles%202005/ComingPresentIceAge.pdf>>. Acesso 3.02.2016.
- HEIDEMAN, M.; JOHNSON, D.; BURRUS, C. Gauss and the history of the fast fourier transform. **IEEE ASSP Magazine**, v. 1, n. 4, p. 14–21, 1984. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/MASSP.1984.1162257> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- HEIDT, M. Learning from Climate Research: Applying the Finite Pool of Worry on Cyberrelated Risks. **Research-in-Progress Papers**, v. 26, 2018. Disponível em: [https://aisel.aisnet.org/ecis2018\\_rip/26](https://aisel.aisnet.org/ecis2018_rip/26) – Acesso em: 29 mar. 2021.
- HELLIWELL, J.F.; LAYARD, R.; SACHS, J.; DE NEVE, J.E. (eds.). **World Happiness Report**. New York: Sustainable Development Solutions Network, 2020. Disponível em <https://worldhappiness.report/ed/2020/> – Acesso em: 29 mar. 2021.
- HELM, S.V.; POLLITT, A.; BARNETT, M.A.; CURRAN, M.A. et al. Differentiating environmental concern in the context of psychological adaption to climate change. **Global Environmental Change**, v. 48, p. 158-167, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2017.11.012> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- HENINGER, S. K. **Touches of sweet harmony: Pythagorean cosmology and Renaissance poetics**. San Marino, Calif: Huntington Library, 1974. ISBN 0873280636
- HENINGER, S.K. Some Renaissance Versions of the Pythagorean Tetrad. **Studies in the Renaissance**, v. 8, p. 7-35, 1961. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/2856986> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- HENINGER, S.K. **Touches of Sweet Harmony: Pythagorean Cosmology and Renaissance Poetics**. San Marino: Huntington Library, 1974.
- HENKIN, D.M. **The week: a history of the unnatural rhythms that made us who we are**. New Haven: Yale University Press, 2021. [ISBN 9780300257328].
- HICKS, A.J. **Composing the world: harmony in the Medieval Platonic cosmos**. New York, NY: Oxford University Press, 2017. [ISBN 9780190658205].
- HICKS, A.J. **Composing the world: harmony in the Medieval Platonic cosmos**. New York, NY: Oxford University Press, 2017. [ISBN 9780190658205]
- HISPALENSIS, I. **De natura rerum**: Pa 32. Zofingen: Stadtbibliothek, c. 612. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5076/e-codices-zos-pa0032> – Acesso em: 05 abr. 2021.

- HOFFMAN, A. **How Leonardo DiCaprio Got People to Care About Climate Change**. [S./]: Time, 5 ago. 2016. Disponível em: <https://time.com/4441219/leonardo-dicaprio-oscar-climate-change/> – Acesso em: 29 mar. 2021.
- HOLBOURN A.; KUHN W.; SCHULZ M.; FLORES J.A.; ANDERSEN N. 2007. Orbitally-paced climate evolution during the middle Miocene “Monterey” carbon-isotope excursion. **Earth and Planetary Science Letters**. 261(3-4):534-550. [DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.epsl.2007.07.026>]
- HOWARTH, C.C.; SHARMAN, A.G. Labeling opinions in the climate debate: a critical review. **WIREs Climate Change**, v. 6, p. 239-254, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/wcc.332> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- HOWATSON, M.C.; FRISBEE C.S. **Plato – The Symposium**. Leiden: Cambridge University Press, 2008. Print. [ISBN 978-0-511-39813-1].
- HOYT, D.V.; SCHALTEN, K.H. **The role of the sun in climate change**. Oxford: Oxford University Press, 1997. ISBN 0195094131.
- HUBBARD, B. **The world according to wavelets: the story of a mathematical technique in the making**. Wellesley: A.K. Peters, 1996. ISBN 1568810474.
- HULME M.; DESSAI S.; LORENZONI I.; NELSON D.R. 2009. Unstable climates: Exploring the statistical and social constructions of ‘normal’ climate. **Geoforum**, 40(2):197-206. [DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoforum.2008.09.010>]
- HULME, M. **Chaotic world of climate truth**. [S./]: BBC News, 04 nov. 2006. Disponível em: <http://news.bbc.co.uk/2/hi/science/nature/6115644.stm> – Acesso em: 29 mar. 2021.
- HULME, M. The conquering of climate: discourses of fear and their dissolution. **The Geographical Journal**, v. 174, n. 1, p. 5–16, mar. 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1475-4959.2008.00266.x> – Acesso em: 29 mar. 2021.
- HULME, M.; SHEAR, N. **Cenários e alterações climáticas para o Brasil**. Norwich: Climate Research Unit, 1999. 6 p. Disponível em: <https://web.archive.org/web/20030619193049/http://www.cru.uea.ac.uk/~mikeh/research/brazil.pdf> – Acesso em: 29 abr. 2021
- HUMBOLDT A.Von. 1850. **Kosmos**. Entwurf einer physischen Weltbeschreibung. Bd. 3. Stuttgart und Tübingen: Cotta. 672 p. [ISBN 9781273239274]
- HUMLUM, O.; SOLHEIMC, J.E.; STORDAHL, K. Identifying natural contributions to late Holocene climate change. **Global and Planetary Change**, v. 79, n. 1–2, p. 145-156, out.-nov. 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2011.09.005> – Acesso em: 26 abr. 2021.
- HUNTER, J. **The 'climate doomers' preparing for society to fall apart**. BBC News, 16 mar. 2020. Disponível em: <https://www.bbc.com/news/stories-51857722> – Acesso em: 29 mar. 2021.
- HURRICANE ISABEL**. /n: WIKIMEDIA COMMONS, 2021. Disponível em: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hurricane\\_Isabel\\_14\\_sept\\_2003\\_1445Z.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hurricane_Isabel_14_sept_2003_1445Z.jpg) – Acesso em: 05 abr. 2020.
- HYNDMAN, R.J. **Package ‘fpp’**. Data for “Forecasting: principles and practice”. [S./], fev. 2015. Disponível em: <https://cran.r-project.org/web/packages/fpp/fpp.pdf> – Acesso em: 12 mai. 2021.
- IBGE. **PNAD Contínua 2018: educação avança no país, mas desigualdades raciais e por região persistem**. [S./]: Agência IBGE de Notícias, 19 jun 2019. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/24857-pnad-continua-2018-educacao-avanca-no-pais-mas-desigualdades-raciais-e-por-regiao-persistem> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- IDELAND, M. **The Eco-Certified Child**. Citizenship and Education for Sustainability and Environment. Cham: Palgrave Pivot, 2019. **E-book**. ISBN 9783030001988. (Palgrave Studies in Education and the Environment). Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-00199-5> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- IFLAS. **International Scholars Warning on Societal Disruption and Collapse**. [S./]: Initiative for Leadership and Sustainability (IFLAS), 6 dez. 2020. Disponível em: <https://iflas.blogspot.com/2020/12/international-scholars-warning-on.html> – Acesso em: 29 mar. 2021.
- IMF. **Climate Change**. [S./]: International Monetary Fund (IMF), fev. 2021. Disponível em: <https://www.imf.org/en/Topics/climate-change> – Acesso em: 29 mar. 2021.
- INCROPERA, F.P. **Climate change: a Wicked Problem: Complexity and Uncertainty at the Intersection of Science, Economics, Politics, and Human Behavior**. Cambridge: Cambridge University Press, 2015. ISBN 9781107109070. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/CB09781316266274> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- INDIRA Gandhi**. /n: AZ Quotes. [S./], 2021. Disponível em: <https://www.azquotes.com/quote/105818> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- IPCC. Summary for Policymakers. /n: STOCKER, T.F.; QIN, G.-K. PLATTNER, M. TIGNOR, et al. (eds.). **Climate Change 2013: The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University, 2013. Disponível em: [https://archive.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5\\_SPM\\_FINAL.pdf](https://archive.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_SPM_FINAL.pdf) – Acesso em: 26 abr. 2021.
- ITS. **Mudanças climáticas na percepção dos brasileiros**. [S./]: Instituto de Tecnologia e Sociedade do Rio (ITS), 4 fev. 2021. Disponível em: <https://www.percepcaoclimatica.com.br/> OU [https://itsrio.org/wp-content/uploads/2021/02/Apresenta%C3%A7%C3%A3o-IBOPE\\_FINAL.pptx.pdf](https://itsrio.org/wp-content/uploads/2021/02/Apresenta%C3%A7%C3%A3o-IBOPE_FINAL.pptx.pdf) – Acesso em: 29 mar. 2021.

- JACOBI, P.R.; GRANDISOLI, E.; COUTINHO, S.M.V.; MAIA, R.A.; Toledo, R.F. (org.). **Temas atuais em mudanças climáticas**: para os ensinos fundamental e médio. São Paulo: IEE – USP, 2015. 112p. **E-book**. ISBN 9788586923418. Disponível em: [http://www.incline.iag.usp.br/data/download/slivre\\_BRA\\_phi](http://www.incline.iag.usp.br/data/download/slivre_BRA_phi) | ou | [http://www.incline.iag.usp.br/data/arquivos\\_download/1446643757.pdf](http://www.incline.iag.usp.br/data/arquivos_download/1446643757.pdf) – Acesso em: 05 abr. 2021.
- JAIN, A.; SHARMA, R.; GAUR, K.L.; YADAV, N. et al. Study of internet addiction and its association with depression and insomnia in university students. **Journal of Family Medicine and Primary Care**, v. 9, n. 3, p. 1700–1706, mar. 2020. Disponível em: [https://dx.doi.org/10.4103%2Fjfmprc.jfmprc\\_1178\\_19](https://dx.doi.org/10.4103%2Fjfmprc.jfmprc_1178_19) – Acesso em: 05 abr. 2021.
- JAMIE, J. **The music of the spheres**: music, science, and the natural order of the universe. New York: Copernicus – Springer Verlag, 1995. [ISBN 0-387-94474-5].
- JANSA L.F.; AUBRY M.P.; GRADSTEIN F.M. 1990. Comets and extinctions: Cause and effect? **Geological Society of America Special Papers**. Global Catastrophes in Earth History: An Interdisciplinary Conference on Impacts, Volcanism, and Mass Mortality. **247**:223-232. [DOI: <http://dx.doi.org/10.1130/SPE247-p223>]
- JENKS, B. **How a Nobel Prize in Economics Could Help Solve the Climate Crisis**. [S./J.]. Stanford Social Innovation Review (SSIR), 22 nov. 2017. Disponível em: [https://ssir.org/articles/entry/how\\_a\\_nobel\\_prize\\_in\\_economics\\_could\\_help\\_solve\\_the\\_climate\\_crisis#](https://ssir.org/articles/entry/how_a_nobel_prize_in_economics_could_help_solve_the_climate_crisis#) – Acesso em: 29 mar. 2021.
- JONES, R.N.; PATWARDHAN, A.; COHEN, S.J.; DESSAI, S. et al. Foundations for decision making. *In*: FIELD, C.B.; BARROS, V.R.; DOKKEN, D.J.; MACH, K.J. ET AL. (ed.). **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects**. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2014, p. 195-228. Disponível em: [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WGIIAR5-Chap2\\_FINAL.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WGIIAR5-Chap2_FINAL.pdf) – Acesso em: 29 mar. 2021.
- JONES, T.F. Mass Psychogenic Illness: Role of the Individual Physician. **American Family Physician**, v. 62, n. 12, p. 2649-2653, 15 dez. 2000. Disponível em: <https://www.aafp.org/afp/2000/1215/p2655.html> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- JOSE P.D. 1965. Sun's motion and sunspots. **Astronomical Journal**. **70**(3):193-200. [DOI: <http://dx.doi.org/10.1086/109714>]
- JOSEPH Joubert. *In*: WIKIQUOTE. Wikimedia, 2021. Disponível em: [https://en.wikiquote.org/wiki/Joseph\\_Joubert](https://en.wikiquote.org/wiki/Joseph_Joubert) – Acesso em: 05 abr. 2021.
- JUNG, C.G. **O Homem e seus Símbolos**. 3 ed. Tradução: Maria Lúcia Pinho. Rio de Janeiro: HarperCollins Brasil, 2016. ISBN 9788595081468. (Tradução da obra em Inglês: **The Man and his Symbols**).
- KAHN, C.H. **Pythagoras and the Pythagoreans**: a brief history. Indianapolis, IN: Hackett Pub, 2001. [ISBN 0-87220-575-4].
- KAHN, C.H.; HERACLITUS. **The art and thought of Heraclitus**: an edition of the fragments with translation and commentary. Cambridge England New York: Cambridge University Press, 1979. [ISBN 052128645X].
- KALENDA, P. Calculation of solar energy, accumulated in the continental rocks. **NGGT Journal**, v. 6, n. 3, set. 2018. Disponível em [https://www.researchgate.net/publication/330225187\\_Calculation\\_of\\_solar\\_energy\\_accumulated\\_in\\_the\\_continental\\_rocks](https://www.researchgate.net/publication/330225187_Calculation_of_solar_energy_accumulated_in_the_continental_rocks) – Acesso em: 05 abr. 2021.
- KALENDA, P.; MILOSLAV, S. **Klimatické cykly způsobené kolísáním sluneční activity (Ciclos climáticos causados por flutuações na atividade solar)**. [S./J.], 2020. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/347421603\\_Klimaticke\\_cykly\\_zpusobene\\_kolisanim\\_slunecni\\_aktivita](https://www.researchgate.net/publication/347421603_Klimaticke_cykly_zpusobene_kolisanim_slunecni_aktivita) – Acesso em: 05 abr. 2021.
- KANE, R.P.; TEIXEIRA, N.R. Power spectrum analysis of the time-series of annual mean surface air temperatures. **Climatic Change**, v. 17, p. 121–130, 1990. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/BF00149003> – Acesso em: 06 mai. 2021.
- KAPLAN, E.A. Is Climate-Related Pre-Traumatic Stress Syndrome a Real Condition? **American Imago**, v. 77, n. 1, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1353/aim.2020.0004> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- KAUFMAN, D.; MCKAY, N.; KIEFER, T. et al. A regional view of global climate change. **Global Change**, n. 81, p. 18-23, out. 2013. Disponível em: <http://www.igbp.net/download/18.29d2af531409c09b243650/1382360687132/NL81-PAGES2k.pdf> | ou | <http://www.igbp.net/publications/globalchangemagazine/globalchangemagazine/globalchangemagazineno81.5.29d2af531409c09b24362e.html> – Acesso em: 12 mai. 2021.
- KEELING C.D.; WHORF T.P. 1997. Possible forcing of global temperature by the oceanic tides. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**. **94**(16):8321-8328. URL: <<http://www.pnas.org/content/94/16/8321.abstract>>. Acesso: 29.11.2015.
- KEELING C.D.; WHORF T.P. 2000. The 1,800-year oceanic tidal cycle: A possible cause of rapid climate change. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**. **97**(8):3814–3819. URL: <<http://www.pnas.org/content/97/8/3814.abstract>>. Acesso: 29.11.2015.
- KEENLYSIDE, N.; LATIF, M.; JUNGCLAUS, J. et al. Advancing decadal-scale climate prediction in the North Atlantic sector. **Nature**, v. 453, p. 84–88, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/nature06921> – Acesso em: 26 abr. 2021.
- KELES, B.; MCCRAE, N.; GREALISH, A. A systematic review: the influence of social media on depression, anxiety and psychological distress in adolescents. **International Journal of Adolescence and Youth**, v. 25, n. 1, p. 79-93, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/02673843.2019.1590851> – Acesso em: 05 abr. 2021.

- KELLERHALS, T.; BRÜTSCH, S.; SIGL, M. et al. Ammonium concentration in ice cores: A new proxy for regional temperature reconstruction? **Journal of Geophysical Research**, v. 115, artigo n. D16, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1029/2009JD012603> – Acesso em: 06 mai. 2021.
- KEPLER, J. **Harmonices Mundi**: libri V. [S.]: Lincii Austriae, 1619. Disponível em: <https://archive.org/details/loanniskeplerih00kepl/page/206/mode/2up> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- KEPLER, J. **Kepler's Platonic solid model of the Solar system**. [S.]: 1596b. Disponível em: <https://en.wikipedia.org/wiki/File:Kepler-solar-system-1.png> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- KEPLER, J. **Kepler's Solar system**. [S.]: 1596c. Disponível em: <https://en.wikipedia.org/wiki/File:Kepler-solar-system-2.png> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- KEPLER, J. **Prodromus Dissertationum Cosmographicarum**: continens mysterium cosmographicum, de admirabili proportione orbium coelestium, deque causis coelorum numeri, magnitudinis, motuumque periodicorum genuinis & propriis, demonstratum, per quinque regularia corpora geométrica. Tubingae: excudebat Georgius Gruppenbachius, 1596a. Disponível em: <https://doi.org/10.3931/e-rara-445> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- KERN A.K.; HARZHAUSER M.; PILLER W.E.; MANDIC O.; SOLIMAN A. 2012. Strong evidence for the influence of solar cycles on a Late Miocene lake system revealed by biotic and abiotic proxies. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**. 329–330:124–136. [DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.palaeo.2012.02.023>]
- KERR, R. A. What Happened to Global Warming? Scientists Say Just Wait a Bit. **Science**, v. 326, n. 5949, p. 28–29, 1 out. 2009. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1126/science.326\\_28a](http://dx.doi.org/10.1126/science.326_28a) – Acesso em: 12 mai. 2021.
- KERTON A.K. 2009. Climate Change and the Earth's Magnetic Poles, a Possible Connection. **Energy & Environment**. 20(1):75–83. [DOI: <http://dx.doi.org/10.1260/095830509787689286>]
- KESSLER, RC.; BERGLUND, P.; DEMLER, O.; JIN, R. et al. Lifetime prevalence and age-of-onset distributions of DSM-IV disorders in the National Comorbidity Survey Replication. **Archives of General Psychiatry**, v. 62, n. 6, p. 593–602, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1001/archpsyc.62.6.593> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- KIRKBY J. 2007. Cosmic Rays and Climate. **Surveys in Geophysics**. 28(5–6):333–375. [DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10712-008-9030-6>]
- KLOTZBACH, P. J. et al. An Alternative Explanation for Differential Temperature Trends at the Surface and in the Lower Troposphere. **Journal of Geophysical Research**, v. 114, n. D21, 4 nov. 2009. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1029/2009JD011841> – Acesso em: 12 mai. 2021.
- KLYASHTORIN, L.B. **Climate Change and Long-Term Fluctuations of Commercial Catches**: The Possibility of Forecasting. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2001. ISBN 9251046956. Disponível em: <http://www.fao.org/3/y2787e/y2787e.pdf> | ou | <http://www.fao.org/3/y2787e/y2787e00.htm> – Acesso em: 22 abr. 2021.
- KLYASHTORIN, L.B.; LYUBUSHIN, A.A. **Cyclic Climate Changes and Fish Productivity**. Moscou: VNIRO Publishing, 2007. ISBN 9785853823396. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/264783274\\_Cyclic\\_Climate\\_Changes\\_and\\_Fish\\_Productivity](https://www.researchgate.net/publication/264783274_Cyclic_Climate_Changes_and_Fish_Productivity) – Acesso em: 22 abr. 2021.
- KLYASHTORIN, L.B.; LYUBUSHIN, A.A. On the Coherence between Dynamics of the World Fuel Consumption and Global Temperature Anomaly. **Energy & Environment**, v. 14, n. 6, p. 773–782, nov. 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1260/095830503322793641> – Acesso em: 22 abr. 2021.
- KNOWTH. **Knowth Kerbstone K52**. [S.]: 2021a. Disponível em: <https://www.knowth.com/knowth-kerbstone52.htm> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- KOCK, S. T.; SCHITTEK, K.; MÄCHTLE, B. et al. Multi-centennial-scale variations of South American summer monsoon intensity in the southern central Andes (24–27°S) during the late Holocene. **Geophysical Research Letters**, v. 47, artigo n. e2019GL084157, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1029/2019GL084157> – Acesso em: 06 mai. 2021.
- KOELLE, D.E. Klima-Zyklen und ihre Extrapolation in die Zukunft [Climate cycles and their extrapolation into the future]. **Kalte Sonne**. [S.], 29 jan. 2015. Disponível em: <https://kaltesonne.de/klima-zyklen-und-ihre-extrapolation-in-die-zukunft/> – Acesso em: 22 abr. 2021.
- KOPP G.; LEAN J. L. 2011. A new, lower value of total solar irradiance: Evidence and climate significance. **Geophysical Research Letters**. 38(1):L01706. [DOI: <http://dx.doi.org/10.1029/2010GL045777>]
- KOSAKA, Y.; XIE, S.-P. Recent Global-Warming Hiatus Tied to Equatorial Pacific Surface Cooling. **Nature**, v. 501, n. 7467, p. 403–407, 28 ago. 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1038/nature12534> – Acesso em: 12 mai. 2021.
- KOSAKA, Y.; XIE, SP. The tropical Pacific as a key pacemaker of the variable rates of global warming. **Nature Geosciences**, v. 9, p. 669–673, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/ngeo2770> – Acesso em: 03 mai. 2021.
- KOSTIGEN, T. **If the clean-tech revolution isn't careful, it could set off a climate crisis of its own**. Toronto: The Globe and Mail, 9 jan. 2021. Disponível em: <https://www.theglobeandmail.com/opinion/article-if-the-clean-tech-revolution-isnt-careful-it-could-set-off-a-climate/> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- KOSTYK R.I. 2013. What are solar faculae? **Kinematics and Physics of Celestial Bodies**. 29(1):32–36. [DOI: <http://dx.doi.org/10.3103/S0884591313010030>]

- KOTOV, S.; PÄLIKE, H. (2018). QAnalySeries – a cross-platform time series tuning and analysis tool. *In: AGU FALL MEETING, 2018*. Wahsington. **Proceedings [...]**. Wahsington: AGU, 18 dez. 2018. Disponível em: <https://agu.confex.com/agu/fm18/meetingapp.cgi/Paper/349843> – Acesso em: 12 mai. 2021.
- KROKOS, G.; PAPADOPOULOS, V.P.; SOFIANOS, S.S. et al. Natural climate oscillations may counteract Red Sea warming over the coming decades. **Geophysical Research Letters**, v. 46, p. 3454–3461, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1029/2018GL081397> – Acesso em: 06 mai. 2021.
- KUEHN, K. **A student's guide through the great physics texts**. Volume IV: Heat, Atoms and Quanta. Cham: Springer, 2016. [ISBN 978-3-319-21827-4].
- KUKLA G.; FAIRBRIDGE R.W. 2005. Milankovitch, Milutin (1879-1958). *In: Oliver J.E. ed. 2005. Encyclopedia of World Climatology*. Dordrecht: Springer. p. 502-503. [ISBN 978-1-4020-3264-6]
- KURTZ, B.E. The Effect of Natural Multidecadal Ocean Temperature Oscillations on Contiguous U.S. Regional Temperatures. **PLoS ONE**, v. 10, n. 6, artigo n. e0131349, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0131349> – Acesso em: 06 mai. 2021.
- KUTTEROLF S.; JEGEN M.; MITROVICA J.X.; KWASNITSCHKA T.; FREUNDT A.; HUYBERS P.J. 2013. A detection of Milankovitch frequencies in global volcanic activity. **Geology**. **41**(2):227-230. [DOI: <http://dx.doi.org/10.1130/G33419.1>]
- KVASNYTSYA V. et al. New evidence of meteoritic origin of the Tunguska cosmic body. **Planetary and Space Science**. **84**:131-140, 2013. [DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.pss.2013.05.003>]
- KYKLOS**. *In: WIKIPEDIA, the free encyclopedia, 2020*. Disponível em: <https://en.wikipedia.org/wiki/Kyklos> – Acesso em: 05 abr. 2020.
- LANDSCHEIDT T. 1981. Swinging sun, 79-year cycle, and climatic change. **Journal of Interdisciplinary Cycle Research**. **12**(1):3-19. [DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/09291018109359720>]
- LANDSCHEIDT, T. **Decadal-Scale Variations in El-Niño Intensity**. Waldmuenchen: Schroeter Institute for Research in Cycles of Solar Activity, 2003. Disponível em: <http://www.john-daly.com/theodor/DecadalEnso.htm> – Acesso em: 06 ago. 2021.
- LATORRE, M.R.D.O.; CARDOSO, M.R. A. Análise de séries temporais em epidemiologia: uma introdução sobre os aspectos metodológicos. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, v. 4, n. 3, p. 145–152, nov. 2001. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-790X2001000300002> – Acesso em: 12 mai. 2021.
- LAURIAN A.; DRUHFOUT S.S.; HAZELEGER W.; van den HURK B. 2010. Response of the Western European climate to a collapse of the thermohaline circulation. **Climate Dynamics**. **34**(5):689-697. [DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s00382-008-0513-4>]
- LAWLOR, R. **Sacred geometry: philosophy and practice**. London: Thames and Hudson, 1982. [ISBN 0-500-81030-3].
- LEHMANN, P N. Whither Climatology? Brückner's Climate Oscillations, Data Debates, and Dynamic Climatology. **History of Meteorology**, v. 7, p. 49-70, 2015. Disponível em: <https://journal.meteohistory.org/index.php/hom/article/view/51> – Acesso em: 06 mai. 2021.
- LENTON, T.M.; ROCKSTRÖM, J.; GAFFNEY, O.; RAHMSTORF, S. et al. Climate tipping points - too risky to bet against. **Nature**, v. 592-595, p. 575, 28 nov. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/d41586-019-03595-0> – Acesso em: 29 mar. 2021.
- LEVIN, K.; CASHORE, B.; BERNSTEIN, S.; AULD, G. Overcoming the tragedy of super wicked problems: Constraining our future selves to ameliorate global climate change. **Policy Sciences**, 45, n. 2, p. 123–152, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11077-012-9151-0> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- LEVIN, K.; CASHORE, B.; BERNSTEIN, S.; AULD, G. Playing it forward: Path dependency, progressive incrementalism, and the "Super Wicked" problem of global climate change. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 6, n. 50, artigo 502002, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1088/1755-1307/6/50/502002> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- LEWANDOWSKY, S.; ORESKES, N.; RISBEY, J.S.; et al. Seepage: Climate change denial and its effect on the scientific community. *Global Environmental Change*, v. 33, jul. 2015, p. 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2015.02.013>
- LEWANDOWSKY, S.; RISBEY, J. S.; & ORESKES, N. (2016). The "Pause" in Global Warming: Turning a Routine Fluctuation into a Problem for Science, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 97(5), 723-733. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-14-00106.1>
- LEYL, S. **Mark Carney**: Climate crisis deaths 'will be worse than Covid'. [S.J.]: BBC News, 5 fev. 2021. Disponível em: <https://www.bbc.com/news/business-55944570> – Acesso em: 29 mar. 2021.
- LILLEY, S; MCNALLY, D.; YUEN, E.; DAVIS, J. **Catastrophism: The Apocalyptic Politics of Collapse and Rebirth**. Oakland: PM Press, 2012. **E-book**. ISBN 9781604865899.
- LIMBURG, M. New systematic errors in anomalies of global mean temperature time-series. **Energy & Environment**, v. 25, n. 1, p. 105–121, 2014.
- LINO L.G. 2010. **A fraude do aquecimento global**: como um fenômeno natural foi convertido numa falsa emergência mundial. Rio de Janeiro: Capax Dei. 165 p. [ISBN 978-85-98059-12-9]
- LIVIO, M. **The golden ratio**: the story of phi, the world's most astonishing number. New York: Broadway Books, 2002. [ISBN 9780767908160].

- LLOYD'S REGISTER FOUNDATION. **The Lloyd's Register Foundation World Risk Poll**: Full report and analysis of the 2019 poll. London: Lloyd's Register Foundation, 2019. Disponível em: – Acesso em: 29 mar. 2021. Disponível em: [https://wrp.lfoundation.org.uk/LRF\\_WorldRiskReport\\_Book.pdf](https://wrp.lfoundation.org.uk/LRF_WorldRiskReport_Book.pdf) – Acesso em: 29 mar. 2021.
- LOEHLE, C.; SCAFETTA, N. Climate Change Attribution Using Empirical Decomposition of Climatic Data. **The Open Atmospheric Science Journal**, v. 5, n. 1, p. 74–86, 20 jul. 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.2174/1874282301105010074> – Acesso em: 12 mai. 2021.
- LOMBORG, B. **How to Spend \$50 Billion to Make the World a Better Place**. Cambridge: Cambridge University Press, 2006. E-book. ISBN 9780511540691.
- LOMBORG, B. **Solutions for the world's biggest problems**: costs and benefits. Cambridge: Cambridge University Press, 2007. E-book. ISBN 9780511364235.
- LOMBORG, B. Welfare in the 21st century: Increasing development, reducing inequality, the impact of climate change, and the cost of climate policies. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 156, artigo n. 119981, jul. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.119981> – Acesso em: 29 mar. 2021.
- LORENSI, C. **Resposta dos anéis de crescimento de Araucaria angustifolia (Bertol.) O. Kuntze da região sul do Brasil aos forçantes geofísicos e climáticos**. 2016. Tese (Doutorado em Física e Astronomia) – Universidade do Vale do Paraíba (UNIVAP), São José dos Campos, 2016. Disponível em: <https://biblioteca.univap.br/jspui/handle/tede/30> – Acesso em: 22 abr. 2021.
- LOUV, R. **Last child in the woods**: saving our children from nature-deficit disorder. Chapel Hill: Algonquin Books, 2008. ISBN 9781565126053.
- LOVETT R.A. 2012. **New Planet Found in Our Solar System?**. National Geographic Daily News. 11 mai. 2012. URL: <http://news.nationalgeographic.com/news/2012/05/120511-new-planet-solar-system-kuiper-belt-space-science/> >. Acesso: 29.11.2015.
- LU, Q.B. Cosmic-ray-driven reaction and greenhouse effect of halogenated molecules: culprits for atmospheric ozone depletion and global climate change. **International Journal of Modern Physics B**, v. 27, n. 17, artigo n. 1350073, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1142/S0217979213500732> – Acesso em: 22 abr. 2021.
- LU, S. An epidemic of fear. **Monitor on Psychology**, v. 46, n. 3, p. 46, mar. 2015. Disponível em: <https://www.apa.org/monitor/2015/03/fear> – Acesso em: 29 mar. 2021.
- LÜDECKE, H.-J.; HEMPELMANN, A.; WEISS, C.O. Multi-periodic climate dynamics: spectral analysis of long-term instrumental and proxy temperature records. **Climate of the Past**, v. 9, n. 1, p. 447–452, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.5194/cp-9-447-2013> – Acesso em: 03 mai. 2021.
- LÜDECKE, H.-J.; WEISS, C.O. Harmonic Analysis of Worldwide Temperature Proxies for 2000 Years. *The Open Atmospheric Science Journal*, v. 11, p. 44-53, 2017.
- LÜDECKE, H.-J.; WEISS, C.O. Solar, AMO, & PDO cycles combined reproduce the global climate of the past. *Watts Up With That? [blog]*. [S.l.], 17 dez. 2013. Disponível em: <https://wattsupwiththat.com/2013/12/17/solar-amo-pdo-cycles-combined-reproduce-the-global-climate-of-the-past/> – Acesso em: 03 mai. 2021.
- LÜNING, S. et al. The Medieval Climate Anomaly in South America. **Quaternary International**, v. 508, p. 70–87, mar. 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.quaint.2018.10.041> – Acesso em: 12 mai. 2021.
- LUTERBACHER, J.; NEUKOM, R.; GONZÁLEZ-ROUCO, F.J. Reconstructed and simulated Medieval Climate Anomaly in southern South America. **PAGES Magazine articles**, v. 19, n. 1, p. 20-21, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.22498/pages.19.1.20> – Acesso em: 06 mai. 2021.
- LYUBUSHIN, A.A.; KLYASHTORIN, L.B. Short Term Global Dt Prediction Using (60-70)-Years Periodicity. **Energy & Environment**, v. 23, n. 1, p. 75-85, jan. 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1260/0958-305X.23.1.75> – Acesso em: 22 abr. 2021.
- M51SKETCH**. *WIKIPÉDIA: a enciclopédia livre*. Wikimedia, 2021. Disponível em: <https://en.wikipedia.org/wiki/File:M51Sketch.jpg> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- MA, W.; TIAN J.; LI Q.; WANG P. 2011. Simulation of long eccentricity (400-kyr) cycle in ocean carbon reservoir during Miocene Climate Optimum: Weathering and nutrient response to orbital change. **Geophysical Research Letters**. 38(10):L10701. [DOI: <http://dx.doi.org/10.1029/2011GL047680>]
- MACHADO F. 1967. Geological Evidence for a Pulsating Gravitation. **Nature**. 214(5095):1317-1318. [DOI: <http://dx.doi.org/10.1038/2141317a0>]
- MACIAS, D; STIPS, A; GARCIA-GORRIZ, E. Application of the Singular Spectrum Analysis Technique to Study the Recent Hiatus on the Global Surface Temperature Record. **PLoS ONE**, v. 9, n. 9, artigo n. e107222, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0107222> – Acesso em: 03 mai. 2021.
- MACKEY R. 2009. The Sun's Role in Regulating the Earth's Climate Dynamics. **Energy & Environment**. 20(1):25-73. [DOI: <http://dx.doi.org/10.1260/095830509787689196>]
- MAHER, N.; GUPTA, A. SEN, ENGLAND, M. H. (2014), Drivers of decadal hiatus periods in the 20th and 21st centuries, *Geophys. Res. Lett.*; 41, 5978– 5986, doi:10.1002/2014GL060527.
- MAHER, P. From Al-Jabr to Algebra. **Mathematics in School**, v. 27, n. 4, p. 14–15, 1998. Disponível em: [www.jstor.org/stable/30211868](http://www.jstor.org/stable/30211868) – Acesso em: 12 mai. 2021.
- MALO, S. **Concern over climate change linked to depression, anxiety**: study. New York: Thomson Reuters Foundation, 18 jan. 2018. Disponível em: <https://www.reuters.com/article/us-usa-climate-depression-idUSKBN1F738X> – Acesso em: 05 abr. 2021.

- MANN, G. DOOM. *In: Keywords in Radical Geography*: Antipode at 50. Hoboken: John Wiley & Sons, 2019. p. 90-94. **E-book**. ISBN 9781119558071. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/9781119558071.ch16> – Acesso em: 29 mar. 2021.
- MANN, M. E. et al. Global Signatures and Dynamical Origins of the Little Ice Age and Medieval Climate Anomaly. **Science**, v. 326, n. 5957, p. 1256–1260, 26 nov. 2009. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1126/science.1177303> – Acesso em: 12 mai. 2021.
- MANN, M.E.; ZHANG, Z.; HUGHES, M.K. et al. Proxy-based reconstructions of hemispheric and global surface temperature variations over the past two millennia. **Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)**, v. 105, n. 36, p. 13252–13257, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1073/pnas.0805721105> – Acesso em: 06 mai. 2021.
- MANTUA N.J. et al. A Pacific Interdecadal Climate Oscillation with Impacts on Salmon Production. **Bulletin of the American Meteorological Society**. **78**(6):1069-1079, 1997. [DOI: [http://dx.doi.org/10.1175/1520-0477\(1997\)078%3C1069:APICOW%3E2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0477(1997)078%3C1069:APICOW%3E2.0.CO;2)]
- MAO, Y.J.; TAN, J.Q.; CHEN, B.M.; FAN, H.Y. (2019) The “Ocean Stabilization Machine” May Represent a Primary Factor Underlying the Effect of “Global Warming on Climate Change”. **Atmospheric and Climate Sciences**, v. 9, n. 1 135-145, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.4236/acs.2019.91009> – Acesso em: 03 mai. 2021.
- MARCHESE, F.T. Medieval Information Visualization. *In: Proceedings of the IEEE VIS Arts Program (VISAP)*, Atlanta, Georgia, out. 2013. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/258244654\\_Medieval\\_Information\\_Visualization](https://www.researchgate.net/publication/258244654_Medieval_Information_Visualization) – Acesso em: 05 abr. 2021.
- MARENGO, J.A.; CHOU, S.C.; KAY, G. et al. Development of regional future climate change scenarios in South America using the Eta CPTec/HadCM3 climate change projections: climatology and regional analyses for the Amazon, São Francisco and the Paraná River basins. **Climate Dynamics**, v. 38, p. 1829–1848, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00382-011-1155-5> – Acesso em: 29 abr. 2021.
- MARENGO, J.A.; NOBRE, C.; CHOU, S.C.; TOMASELLA, J.; et al. (2011). **Riscos das mudanças climáticas no Brasil - análise conjunta Brasil – Reino Unido sobre os impactos das mudanças climáticas e do desmatamento na Amazônia**. MCT, Brasília, Brasil. Disponível em: <[http://mudancasclimaticas.cptec.inpe.br/~rmclima/pdfs/destaques/relatorio\\_port.pdf](http://mudancasclimaticas.cptec.inpe.br/~rmclima/pdfs/destaques/relatorio_port.pdf)>. Acesso: março de 2012.
- MARENGO, J.A.; NOBRE, C.A.; CHOU, S.C.; TOMASELLA, J. et al. **Riscos das Mudanças no Brasil**: Análise conjunta Brasil-Reino Unido sobre os impactos das mudanças climáticas e do desmatamento na Amazônia. [S.], INPE, Met Office, mai. 2011. Disponível em: [http://www.pbmc.coppe.ufrj.br/index.php/pt/publicacoes/documentos-publicos/item/riscos-das-mudancas-climaticas-no-brasil?category\\_id=7](http://www.pbmc.coppe.ufrj.br/index.php/pt/publicacoes/documentos-publicos/item/riscos-das-mudancas-climaticas-no-brasil?category_id=7) – Acesso em: 26 abr. 2021.
- MARENGO, J.A.; TORRES, R.R.; ALVES, L.M. Drought in Northeast Brazil—past, present, and future. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 129, p. 1189–1200, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00704-016-1840-8> – Acesso em: 29 abr. 2021.
- MARPLE, S. **Digital Spectral Analysis**. Mineola, New York: Dover Publications, 2019. ISBN 9780486780528.
- MARRINER, N.; MORHANGE, C.; SKRIMSHIRE, S. Geoscience meets the four horsemen? Tracking the rise of neocatastrophism. **Global and Planetary Change**, v. 74, p. 43–48, 2010. Disponível em <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2010.07.005> – Acesso em: 29 mar. 2021.
- MARUYAMA S. 2009. **Aquecimento global?** Trad. Suguio K. São Paulo: Oficina de Textos. 125 p. [Tradução de: Do not be taken in by the global warming theory] [ISBN9788586238963]
- MASON B.G.; PYLE D.M.; OPPENHEIMER C. 2004. The size and frequency of the largest explosive eruptions on Earth. **Bulletin of Volcanology**. **66**(8):735-748. [DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s00445-004-0355-9>]
- MASS psychogenic illness**. *In: WIKIPÉDIA*: a enciclopédia livre. Wikimedia, 2021. Disponível em: [https://en.wikipedia.org/wiki/Mass\\_psychogenic\\_illness](https://en.wikipedia.org/wiki/Mass_psychogenic_illness) – Acesso em: 05 abr. 2021.
- MASSON-DELMOTTE, V.; M. SCHULZ, A. ABE-OUCHI, J. et al. Information from Paleoclimate Archives. *In: STOCKER, T.F.; D. QIN, G.-K. PLATTNER et al. (eds.). Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2013. Cap.5. Disponível em: [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5\\_Chapter05\\_FINAL.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_Chapter05_FINAL.pdf) | ou | <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/> – Acesso em: 12 mai. 2021.
- MASUDA K.; NAGAYA K.; MIYAHARA H.; MURAKI Y.; NAKAMURA T. 2009. Cosmogenic Radiocarbon and the Solar Activity. **J. Phys. Soc. Japan**, **78**(Supl. A):1-6. [DOI: <http://dx.doi.org/10.1143/JPSJS.78SA.1>]
- MATESE J.J.; WHITMAN P.G.; INNANEN K.A.; VALTONEN M.J. 1994. Modulating Terrestrial Impacts from Oort Cloud Comets by the Adiabatically Changing Galactic Tides. *In: Papers Presented to New Developments Regarding the KT Event and Other Catastrophies in Earth History*. LPI Contribution No. 825. Houston: Lunar and Planetary Institute. [138 p.]
- MATESE J.J.; WHITMIRE D.P. 2011. Persistent evidence of a jovian mass solar companion in the Oort cloud. **Icarus**. **211**(2):926-938. [DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.icarus.2010.11.009>]



- MAZZARELLA, A. The 60-Year Solar Modulation of Global Air Temperature: The Earth's Rotation and Atmospheric Circulation Connection. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 88, n. 3–4, p. 193–199, 28 ago. 2006. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s00704-005-0219-z> – Acesso em: 12 mai. 2021.
- MAZZARELLA, A. Time-integrated North Atlantic Oscillation as a proxy for climatic change. **Natural Science**, v. 05, n. 01, p. 149–155, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4236/ns.2013.51A023> – Acesso em: 12 mai. 2021.
- MAZZARELLA, A.; SCAFETTA, N. Evidences for a Quasi 60-Year North Atlantic Oscillation since 1700 and Its Meaning for Global Climate Change. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 107, n. 3–4, p. 599–609, 25 ago. 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s00704-011-0499-4> – Acesso em: 12 mai. 2021.
- MAZZARELLA, A.; SCAFETTA, N. The Little Ice Age Was 1.0–1.5 °C Cooler than Current Warm Period According to LOD and NAO. **Climate Dynamics**, v. 51, n. 9–10, p. 3957–3968, 17 fev. 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s00382-018-4122-6> – Acesso em: 12 mai. 2021.
- MCCRACKEN, K. G.; BEER, J.; STEINHILBER, F. Evidence for Planetary Forcing of the Cosmic Ray Intensity and Solar Activity Throughout the Past 9400 Years. **Solar Physics**, v. 289, n. 8, p. 3207–3229, 20 mar. 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s11207-014-0510-1> – Acesso em: 03 mai. 2021.
- MCDONOUGH, J.K. Leibniz on Pre-established Harmony and Causality [English version]. *In*: LEDUC, C.; LAERKE, M.; RABOUIN, D. (eds.). **Lire Leibniz**. Paris: Vrin, 2017. Disponível em: <https://scholar.harvard.edu/mcdonough/publications/leibniz-pre-established-harmony-and-causality-english-version> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- MCDUGALL, D. **'Ecological grief': Greenland residents traumatised by climate emergency**. [S.l.]: The Guardian, 12 ago. 2019. Disponível em: <https://www.theguardian.com/world/2019/aug/12/greenland-residents-traumatised-by-climate-emergency> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- MCGREGOR G.R.; NIEUWOLT S. 1998. **Tropical climatology: an introduction to the climates of the low latitudes**. 2ª ed. New York: Wiley. [ISBN 978-0-471-96611-1; 339 p.]
- MCGUFFIE K.; HENDERSON-SELLERS A. 2005. **A climate modelling primer**. 3ª ed. Chichester, West Sussex: John Wiley & Sons. 280 p. [ISBN 047085751X]
- MCKINNELL S.M.; CRAWFORD R.W. 2007. The 18.6-year lunar nodal cycle and surface temperature variability in the northeast Pacific. **Journal of Geophysical Research**. 112(c2):C02002. [DOI: <http://dx.doi.org/10.1029/2006JC003671>]
- MCLEAN J.D.; FREITAS C.R.; CARTER R.M. 2009. Influence of the Southern Oscillation on tropospheric temperature. **Journal of Geophysical Research**. 114(D14):1–8. [DOI: <http://dx.doi.org/10.1029/2008JD011637>]
- MCNIDER, R; CHRISTY, J. **Why Kerry Is Flat Wrong on Climate Change**. [S.l.]: Wall Street Journal, 19 fev. 2014. Disponível em: <https://www.wsj.com/articles/SB10001424052702303945704579391611041331266> – Acesso em: 26 abr. 2021.
- MEDEIROS, C.F.; MEDEIROS, A. O pensamento dialético de Bento de Jesus Caraça e sua concepção da educação matemática. **Ciência & Educação (Bauri)**, v. 9, n. 2, p. 261–276, 2003. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-73132003000200008> – Acesso em: 26 abr. 2021.
- MEDHAUG, I. et al. Reconciling Controversies about the 'Global Warming Hiatus'. **Nature**, v. 545, n. 7652, p. 41–47, maio 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1038/nature22315> – Acesso em: 12 mai. 2021.
- MEEHL, G.; TENG, H.; ARBLASTER, J. Climate model simulations of the observed early-2000s hiatus of global warming. **Nature Clim Change** 4, 898–902 (2014). <https://doi.org/10.1038/nclimate2357>
- MEGALITHIC ART**. *In*: WIKIPEDIA, the free encyclopedia, 2020. Disponível em: [https://en.wikipedia.org/wiki/Megalithic\\_art](https://en.wikipedia.org/wiki/Megalithic_art) – Acesso em: 05 abr. 2020.
- MELLOTT A.L.; BAMBACH, R.K. 2010. Nemesis reconsidered. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society: Letters**. 407(1):L99–L102. [DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1745-3933.2010.00913.x>]
- MENDONÇA, F. (org.). **Os Climas do Sul**: Em Tempos de Mudanças Climáticas Globais. Jundiá, Paco Editorial: 2017. [ISBN 978-85-8148-813-4, versão digital ePub].
- MENG, B.; LIU, M.; LIUFU, H.Y.; WANG, W. Risk perceptions combining spatial multi-criteria analysis in land-use type of Huainan city,
- MERCHANT, B. **The Evolution of Eco-Horror, from Godzilla to Global Warming**. [S.l.]: VICE, 14 nov 2012. Disponível em: <https://www.vice.com/en/article/xyy473/the-evolution-of-eco-horror-from-godzilla-to-global-warming> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- MET OFFICE. **Decadal forecast**. [S.l.]: Met Office, 05 jan. 2013. Disponível em: <https://web.archive.org/web/20130105181745/http://www.metoffice.gov.uk/research/climate/seasonal-to-decadal/long-range/decadal-fc> – Acesso em: 22 abr. 2021.
- MET OFFICE. **Decadal forecast**. [S.l.]: Met Office, 31 out. 2012. Disponível em: <https://web.archive.org/web/20121031114848/http://www.metoffice.gov.uk/research/climate/seasonal-to-decadal/long-range/decadal-fc> – Acesso em: 22 abr. 2021.
- MEWALDT R.A. 1996. Cosmic Rays. *In*: Rigden J.S. 1996. **MacMillan Encyclopedia of Physics**. New York: Simon & Schuster Macmillan. URL: [http://www.srl.caltech.edu/personnel/dick/cos\\_encyc.html](http://www.srl.caltech.edu/personnel/dick/cos_encyc.html) >. Acesso: 29.11.2015. [ISBN 0028645863; 1881 p.]

- MEYER, S. S. **Plato: laws 1 and 2**. Oxford: Oxford University Press, 2015. ISBN 9780199604081.
- MIALL A.D. 2010. **The Geology of Stratigraphic Sequences**. 2ª ed. Heidelberg: Springer. 433 p. [ISBN 978-3-642-05026-8]
- MICHAELS, P.J. Global Warming: Correcting the Data. **Regulation**, v. 31, n. 3, p. 46-52, out. 2008. Disponível em: <https://ssrn.com/abstract=1291362> – Acesso em: 29 abr. 2021.
- MICHAELS, P.J. KNAPPENBERGER, P.C. **Lukewarming: The New Climate Science that Changes Everything**. Washington, D.C: Cato Institute, 2015. **E-book**. ISBN 9781944424039.
- MILLER, J.I.; NAM, K. Dating hiatuses: a statistical model of the recent slowdown in global warming and the next one. **Earth System Dynamics**, v. 11, p. 1123–1132, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.5194/esd-11-1123-2020> – Acesso em: 03 mai. 2021.
- MILLS, M.F. Preparing for the unknown. . . unknowns: 'doomsday' prepping and disaster risk anxiety in the United States. **Journal of Risk Research**, v. 22, n. 10, p. 1267-1279, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/13669877.2018.1466825> – Acesso em: 29 mar. 2021.
- MIRANDA J.M. 2010. **Terra, ambiente e clima: introdução à ciência do sistema terrestre**. Univ. Lisboa, Fac. Ciências. Depto. Eng. Geogr.; Geofísica e Energia. 2010. URL: [http://194.117.7.100/tac/TAC\\_2010.pdf](http://194.117.7.100/tac/TAC_2010.pdf). Acesso 20.04.2011.
- MITCHELL, J.M. (1976). An Overview of Climatic Variability and Its Causal Mechanisms. **Quaternary Research**, v. 6, p. 481-493.
- MOCK C.J. 2006. Paleoclimate. Introduction. //: Elias S.A. (ed.). 2006. **Encyclopedia of Quaternary Science**. 1ª ed. Amsterdam: Elsevier. p. 1867-1873. [DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/B0-44-452747-8/00010-7>]
- MODINOS, A. **From Aristotle to Schrödinger: the curiosity of physics**. Cham: Springer, 2013. [ISBN 978-3-319-00749-6].
- MOL, R.S. **Introdução à história da matemática**. Belo Horizonte: CAED-UFMG, 2013. 138 p. [ISBN 978-85-64724-26-6].
- MOLION L.C.B. 2006. Aquecimento Global, El Niños, Manchas Solares, Vulcões e Oscilação Decadal do Pacífico. **Revista Climanalise**. 3(1):1-5. URL: [http://climanalise.cptec.inpe.br/~rcliman/revista/pdf/Artigo\\_Aquecimento\\_0805.pdf](http://climanalise.cptec.inpe.br/~rcliman/revista/pdf/Artigo_Aquecimento_0805.pdf) >. Acesso: 29.11.2015.
- MOLION L.C.B. 2014. Alarme falso: o mundo não está em ebulição! //: Veiga J.E. 2014. **O Imbróglio Do Clima**. Ciência, Política e Economia. São Paulo: Senac. 168 p. [ISBN 9788539607754]
- MOLION L.C.B. 2015. [Professor de Meteorologia da Universidade Federal de Alagoas]. **Minha visão sobre eventos El Niño**. [Mensagem pessoal recebida em 01 ago. 2015]
- MOLION, L.C.B. Alarme falso: o mundo não está em ebulição! //: VEIGA, J.E. 2014. **O Imbróglio do Clima - Ciência, Política e Economia**. São Paulo: Senac, 2014. 168 p.
- MOLION, L.C.B. **Aquecimento Global Antropogênico: fatos e mitos**. [S.]: MSLa, 03 mar. 2021b. Disponível em: <https://mslainforma.org/aquecimento-global-antropogenico-fatos-e-mitos/> – Acesso em: 06 ago. 2021.
- MOLION, L.C.B. Ciclos climáticos. Destinatário: Marcos José de Oliveira. [S.]: 14 jul. 2021a. Mensagem eletrônica (*e-mail*).
- MOLION, L.C.B. Gênese do El Niño. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 21, jul/dez, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v21i0.51873> – Acesso em: 06 ago. 2021.
- MONCKTON, C.; SOON, W.W.H.; LEGATES, D.R.; BRIGGS, W.M. Keeping it simple: the value of an irreducibly simple climate model. **Science Bulletin**, v. 60, n. 15, p. 1378-1390, ago. 2015b. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11434-015-0856-2> – Acesso em: 26 abr. 2021.
- MONCKTON, C.; SOON, W.W.H.; LEGATES, D.R.; BRIGGS, W.M. Why models run hot: results from an irreducibly simple climate model. **Science Bulletin**, v. 60, n. 1, p. 122-135, jan. 2015a. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11434-014-0699-2> – Acesso em: 26 abr. 2021.
- MORETTIN, P.A. **Ondas e Ondaletas: Da Análise de Fourier à Análise de Ondaletas de Séries Temporais**. 2ª ed. São Paulo: Edusp, 2014. ISBN 8531414784.
- MORETTIN, P.A.; TOLOI, C. **Análise de Séries Temporais**. São Paulo: Edgard Blucher, 2006. ISBN 9788521203896.
- MORGAN, R. **Environmental issues seen as the biggest problem facing Australia – for the first time since February 2011**. [S.]: Roy Morgan, 04 nov. 2019. Disponível em: [www.roymorgan.com.au/findings/8184-most-important-problems-facing-australia-world-october-2019-201910280658](http://www.roymorgan.com.au/findings/8184-most-important-problems-facing-australia-world-october-2019-201910280658) – Acesso em: 29 mar. 2021.
- MORRISON, T. Spiral patterns in Irish decoration from Newgrange to the Tenth Century. 5th Australian Conference of Celtic Studies. Exile and Homecoming: **Papers [..]**. Sydney: University of Sydney, jul. 2004, p. 309-321. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1959.13/35577> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- MORTON, J. **Don't Mention the Emergency? Making the Case for Emergency Climate Action**. 2. ed. [S.]: Darebin Climate Action Now, fev. 2020. Disponível em: <https://climateemergencydeclaration.org/wp-content/uploads/2018/09/DontMentionTheEmergency2018.pdf> | ou | <https://climateemergencydeclaration.org/climateessaging/> – Acesso em: 13 abr. 2021.

- MOSES, A. **'Collapse of civilisation is the most likely outcome': top climate scientists.** [S.]: Voice of Action, 31 mar. 2021. Disponível em: <https://voiceofaction.org/collapse-of-civilisation-is-the-most-likely-outcome-top-climate-scientists/> – Acesso em: 29 mar. 2021.
- MURTUGUDDE, R. **10 Reasons Why Climate Change Is a 'Wicked' Problem.** The WIRE. 11 dez. 2019. Disponível em: <https://thewire.in/environment/climate-change-wicked-problem> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- NANCE R.D.; MURPHY J.B. 2013. Origins of the supercontinent cycle. **Geoscience Frontiers**. 4(4):439-448. [DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.gsf.2012.12.007>]
- NANCE R.D.; MURPHY J.B.; SANTOSH M. 2014. The supercontinent cycle: A retrospective essay. **Gondwana Research**. 25(1):4-29. [DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.gr.2012.12.026>]
- NASA. 2002. **The Great Dying.** URL: <[http://science1.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2002/28jan\\_extinction/](http://science1.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2002/28jan_extinction/)>. Acesso: 29.11.2015.
- NASA. 2003. **The Solar 'Constant' - Faculae vs. Sunspots.** NASA Scientific Visualization Studio. 02 jan. 2003. URL: <<https://svs.gsfc.nasa.gov/cgi-bin/details.cgi?aid=2644>>. Acesso: 29.11.2015.
- NASA. 2009. **Fresh Craters on the Moon and Earth.** NASA Earth Observatory. 13 ago. 2009. URL: <<http://earthobservatory.nasa.gov/IOTD/view.php?id=39769>>. Acesso: 29.11.2015.
- NASA. 2010. **NASA Study Finds Atlantic 'Conveyor Belt' Not Slowing.** NASA News & Features. 25 mar. 2010. URL: <<http://www.jpl.nasa.gov/news/news.php?release=2010-101>>. Acesso: 29.11.2015.
- NASA. 2011. **NASA Study Goes to Earth's Core for Climate Insights.** NASA Jet Propulsion Laboratory. 09 mar. 2011. URL: <<http://www.jpl.nasa.gov/news/news.php?release=2011-074>>. Acesso: 29.11.2015.
- NATIONAL ACADEMIES OF SCIENCES, ENGINEERING, AND MEDICINE. **Frontiers in Decadal Climate Variability: Proceedings of a Workshop.** Washington: The National Academies Press, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.17226/23552> – Acesso em: 12 mai. 2021.
- NELSON, H. **Kykloi: cyclic theories in ancient Greece.** 2980. Dissertação (Master of Arts in History) – Department of History, Portland State University, 1980. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.15760/etd.3256> – Acesso em: 12 mai. 2021.
- NEUKOM, R.; GERGIS, J.; KAROLY, D. J. et al. Inter-hemispheric temperature variability over the past millennium. **Nature Climate Change**, v. 4, n. 5, p. 362–367, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/nclimate2174> – Acesso em: 06 mai. 2021.
- NEUKOM, R.; LUTERBACHER, J.; VILLALBA, R. et al. Multiproxy summer and winter surface air temperature field reconstructions for southern South America covering the past centuries. **Climate Dynamics**, v. 37, p. 35–51, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00382-010-0793-3> – Acesso em: 06 mai. 2021.
- NEVES, M.T.S. **A Formação Musical Na Paidéia Platônica.** //: Simpósio de Estética e Filosofia da Música – SEFIM/UFRGS, 2013, Porto Alegre. Anais [...]. Porto Alegre: UFRGS, v.1, n. 1, 2013, p. 573-578. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/sefim/ojs/index.php/sm/article/view/76> – Acesso em: 05 abr. 2020.
- NEWGRANGE. **Newgrange Kerbstone K52.** [S.]: 2021a. Disponível em: <https://www.newgrange.com/newgrange-k52.htm> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- NEWGRANGE. **Newgrange Tri-Spiral.** [S.]: 2021b. Disponível em: <https://www.newgrange.com/tri-spiral.htm> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- NEWMAN M.; COMPO G.P.; ALEXANDER M.A. 2003. ENSO-Forced Variability of the Pacific Decadal Oscillation. **Journal of Climate**. 16(23):3853-3857. [DOI: [http://dx.doi.org/10.1175/1520-0442\(2003\)016%3C3853:EVOTPD%3E2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0442(2003)016%3C3853:EVOTPD%3E2.0.CO;2)]
- NEWMAN, A. **Global Climate Warming Stopped 15 Years Ago, UK Met Office Admits.** [S.]: The New American, 15 out. 2012. Disponível em: <https://thenewamerican.com/global-climate-warming-stopped-15-years-ago-uk-met-office-admits/> – Acesso em: 26 abr. 2021.
- NEWTON, I.; RICCI, T. **Principia: princípios matemáticos de filosofia natural.** São Paulo: EDUSP, 2008. ISBN 9788531406737.
- NGHIEM, L.T. et al. Analysis of the capacity of google trends to measure interest in conservation topics and the role of online news. **PLOS ONE**, v. 11, n. 3, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0152802> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- NICHOLAS, T.; HALL, G.; SCHMIDT, C. **The faulty science, doomism, and flawed conclusions of Deep Adaptation.** [S.]: OpenDemocracy, 14 jul. 2020. Disponível em: <https://www.opendemocracy.net/en/oureconomy/faulty-science-doomism-and-flawed-conclusions-deep-adaptation/> – Acesso em: 29 mar. 2021.
- NIKOLSKY, A. Evolution of Tonal Organization in Music Optimizes Neural Mechanisms in Symbolic Encoding of Perceptual Reality. Part-2: Ancient to Seventeenth Century. **Frontiers in Psychology**, v. 7, artigo n. 211, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.00211> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- NIMH. **What is Prevalence?** [S.]: National Institute of Mental Health (NIMH), nov. 2017. Disponível em: <https://www.nimh.nih.gov/health/statistics/what-is-prevalence.shtml> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- NISBET, M. Sciences, Publics, Politics: The Trouble With Climate Emergency Journalism. **Issues in Science and Technology**, v. 35, n. 4, p 23-26, 2019. Disponível em: <https://issues.org/the-trouble-with-climate-emergency-journalism/> – Acesso em: 29 mar. 2021.

- NISBET, M.C. **Climate Shift: Clear Vision for the Next Decade of Public Debate**. Washington: American University, School of Communication. 2011. Disponível em: [https://climateshiftproject.org/wp-content/uploads/2011/08/ClimateShift\\_report\\_June2011.pdf](https://climateshiftproject.org/wp-content/uploads/2011/08/ClimateShift_report_June2011.pdf) – Acesso em: 29 mar. 2021.
- NOVELLO, V. F.; CRUZ, F. W.; KARMANN, I. et al. Multidecadal climate variability in Brazil's Nordeste during the last 3000 years based on speleothem isotope records. **Geophysical Research Letters**, v. 39, n. 23, artigo n. L23706, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1029/2012GL053936> – Acesso em: 06 mai. 2021.
- NUCCITELLI, D. **Akasofu's Magical Thinking was Wrong**. [S.]: Skeptical Science, 23 set. 2013. Disponível em: <https://skepticalscience.com/akasofu-LIA-recovery-advanced.htm> – Acesso em: 22 abr. 2021.
- NUCCITELLI, D. **Climatology Versus Pseudoscience: Exposing the Failed Predictions of Global Warming Skeptics**. Santa Barbara: Praeger, 2015. ISBN 978-1-4408-3201-7
- NUCCITELLI, D. **Don Easterbrook's Heartland Distortion of Reality**. [S.]: Skeptical Science, 7 jun. 2012. Disponível em: <https://skepticalscience.com/don-easterbrook-heartland-distortion-of-reality.html> – Acesso em: 22 abr. 2021.
- NUCCITELLI, D. **Lessons from Past Climate Predictions: Don Easterbrook** [S.]: Skeptical Science, 29 jun. 2011a. Disponível em: <https://skepticalscience.com/lessons-from-past-climate-predictions-don-easterbrook.html> – Acesso em: 22 abr. 2021.
- NUCCITELLI, D. **Lessons from Past Climate Predictions: Syun-ichi Akasofu**. [S.]: Skeptical Science, 7 jul. 2011b. Disponível em: <https://skepticalscience.com/lessons-from-past-climate-predictions-akasofu.html> – Acesso em: 22 abr. 2021.
- NUCCITELLI, D.A.; ABRAHAM, J.P.; BENESTAD, R.E.; MANDIA, S.A. Comment on: Akasofu, S.I. On the Present Halting of Global Warming. **Climate**, 2013, 1, 4–11. **Climate**, v. 1, n. 2, p. 76-83, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/cli1020076> – Acesso em: 22 abr. 2021.
- NULL, J. **El Niño and La Niña Years and Intensities**. [S.]: Golden Gate Weather Services (GG Weather), mar. 2021.
- NVES, M.T.S. A formação musical na paidéia platônica. **Anais do SEFIM – Simpósio de Estética e Filosofia da Música**, v. 1. n. 1, p. 573-578, 2013. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/sefim/ojs/index.php/sm/article/view/76> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- OECD. **Financing Climate Futures: Rethinking Infrastructure**. Paris: OECD Publishing, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1787/9789264308114-en> | ou | <https://www.oecd.org/environment/cc/climate-futures/> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- OECD. **Unemployment rate**. [S.]: OECD Data, mar. 2021. Disponível em: <https://data.oecd.org/unemp/unemployment-rate.htm> | ou | <https://doi.org/10.1787/52570002-en> – Acesso em: 13 abr. 2021.
- OGREBOT. **Newgrange entrance stone**. In: WIKIMEDIA COMMUNS, 2014. Disponível em: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Newgrange\\_entrance\\_stone.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Newgrange_entrance_stone.jpg) – Acesso em: 05 abr. 2021.
- OJALA, M. Hope and climate change: the importance of hope for environmental engagement among young people. **Environmental Education Research**, v. 18, n. 5, p. 625-642, 2012b. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/13504622.2011.637157> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- OJALA, M. How do children cope with global climate change? Coping strategies, engagement, and well-being. **Journal of Environmental Psychology**, v. 32, n. 3, p. 225-233, 2012a. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2012.02.004>. – Acesso em: 05 abr. 2021.
- O'KELLY, M.J. **Newgrange: Archaeology, Art and Legend**. London: Thames and Hudson, 1982. [ISBN 9780500273715].
- OLDENBORGH, G.J.; COLLINS, M.; ARBLASTER, J.; CHRISTENSEN, J.H. et al. (eds.). Annex I: Atlas of Global and Regional Climate Projections Supplementary Material RCP2.6. //: STOCKER, T.F.; D. QIN, G.-K. PLATTNER, M. TIGNOR, et al. (eds.). **Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge: Cambridge University, 2013a. Disponível em: [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/07/WGI\\_AR5\\_Annex\\_I\\_RCP2\\_6.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/07/WGI_AR5_Annex_I_RCP2_6.pdf) – Acesso em: 26 abr. 2021.
- OLDENBORGH, G.J.; COLLINS, M.; ARBLASTER, J.; CHRISTENSEN, J.H. et al. (eds.). Annex I: Atlas of Global and Regional Climate Projections Supplementary Material RCP4.5. //: STOCKER, T.F.; D. QIN, G.-K. PLATTNER, M. TIGNOR, et al. (eds.). **Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge: Cambridge University, 2013b. Disponível em: [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/07/WGI\\_AR5\\_Annex\\_I\\_RCP4\\_5-1.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/07/WGI_AR5_Annex_I_RCP4_5-1.pdf) – Acesso em: 26 abr. 2021.
- OLDENBORGH, G.J.; COLLINS, M.; ARBLASTER, J.; CHRISTENSEN, J.H. et al. (eds.). Annex I: Atlas of Global and Regional Climate Projections Supplementary Material RCP6.0. //: STOCKER, T.F.; D. QIN, G.-K. PLATTNER, M. TIGNOR, et al. (eds.). **Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge: Cambridge University, 2013c. Disponível em: [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/07/WGI\\_AR5\\_Annex\\_I\\_RCP6.0.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/07/WGI_AR5_Annex_I_RCP6.0.pdf) – Acesso em: 26 abr. 2021.
- OLDENBORGH, G.J.; COLLINS, M.; ARBLASTER, J.; CHRISTENSEN, J.H. et al. (eds.). Annex I: Atlas of Global and Regional Climate Projections Supplementary Material RCP8.5. //: STOCKER, T.F.; D. QIN, G.-K. PLATTNER, M. TIGNOR, et al. (eds.). **Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge: Cambridge University, 2013d. Disponível em: [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/07/WGI\\_AR5\\_Annex\\_I\\_RCP8.5.1.20.14.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/07/WGI_AR5_Annex_I_RCP8.5.1.20.14.pdf) – Acesso em: 26 abr. 2021.

- OLIVEIRA, G. M. Música e Cosmologia em Filolau de Crotona. **Revista Música**, v. 17, n. 1, p. 250–276, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/rm.v17i1.144611> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- OLIVEIRA, G.S.; SILVA, N.F.; HENRIQUES, R. **Mudanças Climáticas**: Ensinos Fundamental e Médio. Brasília: MEC, SEB; MCT; AEB, 2009. 348p. **E-book**. ISBN 9788577830176 (Coleção Explorando o Ensino, v. 13). Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/component/content/195-secretarias-112877938/seb-educacao-basica-2007048997/12583-ensino-medio> | ou | [http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com\\_docman&view=download&alias=4234-colecaoexplorandoensino-vol13&category\\_slug=marco-2010-pdf&Itemid=30192](http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_docman&view=download&alias=4234-colecaoexplorandoensino-vol13&category_slug=marco-2010-pdf&Itemid=30192) – Acesso em: 05 abr. 2021.
- OLIVEIRA, H.M. **Análise de Fourier e Wavelets**: sinais estacionários e não estacionários. Recife: Editora Universitária UFPE, 2007. ISBN 9788573154177.
- OLIVEIRA, H.M. **Análise de Fourier e Wavelets**: sinais estacionários e não estacionários. Recife: Editora Universitária - UFPE, 2007. 342 p. [ISBN 978-85-7315-417-7].
- OLIVEIRA, M.J. **Avaliação experimental de interferências causadas pela radiação solar global e pela velocidade dos ventos em medições climatológicas da temperatura do ar**. 2007. 127p. Monografia. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/52009290\\_Avaliacao\\_experimental\\_de\\_interferencias\\_causadas\\_pela\\_radiacao\\_solar\\_global\\_e\\_pela\\_velocidade\\_dos\\_ventos\\_em\\_medicoes\\_climatologicas\\_da\\_temperatura\\_do\\_ar](https://www.researchgate.net/publication/52009290_Avaliacao_experimental_de_interferencias_causadas_pela_radiacao_solar_global_e_pela_velocidade_dos_ventos_em_medicoes_climatologicas_da_temperatura_do_ar) | ou | <http://www.tcc.sc.usp.br/tce/disponiveis/18/180300/tce-12072010-111433/?&lang=br> – Acesso em: 12 mai. 2021.
- OLIVEIRA, M.J. et al. História geológica e Ciência do Clima: métodos e origens do estudo dos ciclos climáticos na Terra. **Terrae**, v. 12, n. 1-2, p. 03-26, 2015. Disponível em: <[http://www.ige.unicamp.br/terrae/V12/T\\_V12\\_1.html](http://www.ige.unicamp.br/terrae/V12/T_V12_1.html)>. Acesso em: 30 jun. 2017.
- OLIVEIRA, M.J. **Incertezas associadas à temperatura do ar no contexto das mudanças climáticas: determinação das causas e efeitos de heterogeneidades e discussão das implicações práticas**. 2010. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010. 419 p. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/335619148\\_Incertezas\\_associadas\\_a\\_temperatura\\_do\\_ar\\_no\\_contexto\\_das\\_mudancas\\_climaticas\\_determinacao\\_das\\_causas\\_e\\_efeitos\\_de\\_heterogeneidades\\_e\\_discussao\\_das\\_implicacoes\\_praticas](https://www.researchgate.net/publication/335619148_Incertezas_associadas_a_temperatura_do_ar_no_contexto_das_mudancas_climaticas_determinacao_das_causas_e_efeitos_de_heterogeneidades_e_discussao_das_implicacoes_praticas) | ou | <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18139/tde-25042011-095947/pt-br.php> | ou | <https://doi.org/10.11606/D.18.2010.tde-25042011-095947> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- OLIVEIRA, M.J.; ALVARES, C.A.; VECCHIA, F.A.S. Temperatura do ar no Brasil desde 1832: comparação dos dados do INMET, HadCRUT4 e BEST. //: XVIII Congresso Brasileiro de Meteorologia (CBMET), 2014, Recife. **Anais [...]**. Recife, 2014. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/358415027\\_Temperatura\\_do\\_ar\\_no\\_Brasil\\_desde\\_1832\\_comparacao\\_dos\\_dados\\_do\\_INMET\\_HadCRUT4\\_e\\_BEST](https://www.researchgate.net/publication/358415027_Temperatura_do_ar_no_Brasil_desde_1832_comparacao_dos_dados_do_INMET_HadCRUT4_e_BEST) – Acesso em: 05 abr. 2021.
- OLIVEIRA, M.J.; BAPTISTA, G.M.M. Temperatura do ar no Brasil: Análise preliminar de dados obtidos na rede do INMET, de 1961 a 2011. //: XVII Congresso Brasileiro de Meteorologia, 17, 2012, Gramado. **Anais [...]**. Gramado, 2012. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/358414411\\_Temperatura\\_do\\_ar\\_no\\_Brasil\\_Analise\\_preliminar\\_de\\_dados\\_obtidos\\_na\\_rede\\_do\\_INMET\\_de\\_1961\\_a\\_2011](https://www.researchgate.net/publication/358414411_Temperatura_do_ar_no_Brasil_Analise_preliminar_de_dados_obtidos_na_rede_do_INMET_de_1961_a_2011) – Acesso em: 05 abr. 2021.
- OLIVEIRA, M.J.; BAPTISTA, G.M.M.; MACHADO, W. P. Distribuição e representatividade espacial da rede brasileira de estações climatológicas do INMET para uso potencial dos dados de temperatura do ar. //: XVII Congresso Brasileiro de Meteorologia, 17, 2012, Gramado. **Anais [...]**. Gramado, 2012. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/358414492\\_Distribuicao\\_e\\_representatividade\\_espacial\\_da\\_rede\\_brasileira\\_de\\_estacoes\\_climatologicas\\_do\\_INMET\\_para\\_uso\\_potencial\\_dos\\_dados\\_de\\_temperatura\\_do\\_ar](https://www.researchgate.net/publication/358414492_Distribuicao_e_representatividade_espacial_da_rede_brasileira_de_estacoes_climatologicas_do_INMET_para_uso_potencial_dos_dados_de_temperatura_do_ar) – Acesso em: 05 abr. 2021.
- OLIVEIRA, M.J.; CARNEIRO, C.D.R.; VECCHIA, F.A.S.; BAPTISTA, G.M.M. Ciclos climáticos e causas naturais das mudanças do clima. **Revista Terrae Didática**, v. 13, p. 149-184, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.20396/td.v13i3.8650958> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- OLIVEIRA, M.J.; VECCHIA, F.A.S. A controvérsia das mudanças climáticas e do aquecimento global antropogênico: consenso científico ou interesse político? **Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. V, p. 946-962, 2009. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/318044172\\_A\\_Controversia\\_das\\_Mudancas\\_Climaticas\\_e\\_do\\_Aquecimento\\_Global\\_Antropogenico\\_Consenso\\_Cientifico\\_ou\\_Interesse\\_Politico\\_Forum\\_Ambiental\\_da\\_Alta\\_Paulista](https://www.researchgate.net/publication/318044172_A_Controversia_das_Mudancas_Climaticas_e_do_Aquecimento_Global_Antropogenico_Consenso_Cientifico_ou_Interesse_Politico_Forum_Ambiental_da_Alta_Paulista). Acesso em: 30 jun. 2017.
- OLIVEIRA, M.J.; VECCHIA, F.A.S. Mudanças Climáticas. //: CALJURI; M.C.; CUNHA, D.G.F. (orgs.). **Engenharia Ambiental**: Conceitos, Tecnologia e Gestão. 1 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013, Cap. 16, p. 367-400. [ISBN 978-85-352-5954-4] Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/358413250\\_Mudancas\\_Climaticas](https://www.researchgate.net/publication/358413250_Mudancas_Climaticas) – Acesso em: 05 abr. 2021. OLIVEIRA, M.J.; CARNEIRO, C.D.R.; VECCHIA, F.A.S. Evolução (2004-2017) do interesse mundial pelas mudanças climáticas e aquecimento global: influência da ciência, mídia, política, economia e controvérsias. **Revista Científica ANAP Brasil**, v. 10, p. 92-120, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.17271/19843240102020171667> – Acesso em: 29 mar. 2021.
- OLIVEIRA, M.J.; VECCHIA, F.A.S.; CARNEIRO, C.D.R. A Educação no contexto do Aquecimento Global: da “Eco-ansiedade” ao Raciocínio Crítico e Literacia Climática. //: MORALES, A.G.; RIGOLDI, A.G.M.; DIAS, L.S. (Org.). **Educação Ambiental**: Reflexões e Experiências. 1 ed. Tupã/SP: ANAP, 2016, p. 22-37. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/336653672\\_A\\_EDUCACAO\\_NO\\_CONTEXTO\\_DO\\_AQUECIMENTO\\_GLOBAL\\_DA\\_ECO-ANSIEDADE\\_AO\\_RACIOCINIO\\_CRITICO\\_E\\_LITERACIA\\_CLIMATICA](https://www.researchgate.net/publication/336653672_A_EDUCACAO_NO_CONTEXTO_DO_AQUECIMENTO_GLOBAL_DA_ECO-ANSIEDADE_AO_RACIOCINIO_CRITICO_E_LITERACIA_CLIMATICA) – Acesso em: 05 abr. 2021.
- OLIVEIRA, M.J.; VECCHIA, F.A.S.; CARNEIRO, C.D.R. A Educação no Contexto do Aquecimento Global: da Ignorância e Analfabetismo Científico ao Raciocínio Crítico e Literacia Climática. **Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 11, p. 287-310, 2015. Disponível em:

[https://www.researchgate.net/publication/288322902\\_A\\_EDUCACAO\\_NO\\_CONTEXTO\\_DO\\_AQUECIMENTO\\_GLOBAL\\_DA\\_IGNORANCIA\\_E\\_ANALFABETISMO\\_CIENTIFICO\\_AO\\_RACIOCINIO\\_CRITICO\\_E\\_LITERACIA\\_CLIMATICA](https://www.researchgate.net/publication/288322902_A_EDUCACAO_NO_CONTEXTO_DO_AQUECIMENTO_GLOBAL_DA_IGNORANCIA_E_ANALFABETISMO_CIENTIFICO_AO_RACIOCINIO_CRITICO_E_LITERACIA_CLIMATICA) | ou | <http://dx.doi.org/10.17271/1980082711420151292> – Acesso em: 05 abr. 2021.

- OLIVEIRA, M.J.; VECCHIA, F.A.S.; CARNEIRO, C.D.R. Mudanças Climáticas. //: CALJURI, M.C.; CUNHA, D.G.F. (orgs.). **Engenharia Ambiental: Conceitos, Tecnologia e Gestão**. 2 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2019, Cap. 16, p. 299-321. [ISBN: 978-85-352-9047-9]. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/358413668\\_Mudancas\\_Climaticas](https://www.researchgate.net/publication/358413668_Mudancas_Climaticas) – Acesso em: 05 abr. 2021.
- ONÇA D.S. **“Quando o sol brilha, eles fogem para a sombra...”: a ideologia do aquecimento global**. São Paulo: Fac. Filos.; Letras e Ciênc. Hum. Univ. São Paulo (FFLCH-USP), São Paulo, 2001. 557 p. (Tese Dout.). URL: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/8/8135/tde-01062011-104754/pt-br.php>. Acesso 01.10.2015.
- ONÇA D.S. **Curvar-se diante do existente: o apelo às mudanças climáticas pela preservação ambiental**. São Paulo: Fac. Filos.; Letras e Ciênc. Hum. Univ. São Paulo (FFLCH-USP), São Paulo, 2007. 242 p. (Dissert. Mestrado). URL: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/8/8135/tde-05112007-121023/pt-br.php>. Acesso 01.10.2015.
- ONU NEWS. **Veja na íntegra o discurso de Greta Thunberg nas Nações Unidas**. ONU News, 23 set. 2019. Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2019/09/1688042> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- OPPENHEIM, A.V.; WILLSKY, A.S. **Sinais e sistemas**. 2 ed. Tradução de: Daniel Vieira. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010. [ISBN 978-85-4301-380-0].
- ORSSENGO, G. Climate Pattern of the 20th Century for HADCRUT3. **Orsengo [blog]**. [S.l.], 17 ago. 2013b. Disponível em: <https://web.archive.org/web/20130817150102/http://orsengo.com/GlobalWarming/GmtModel.PNG> – Acesso em: 26 abr. 2021.
- ORSSENGO, G. Climate Pattern of the 20th Century. **Orsengo [blog]**. [S.l.], 15 jun. 2012b. Disponível em: <https://web.archive.org/web/20120615054301/http://orsengo.com/GlobalWarming/GmtModel.PNG> – Acesso em: 26 abr. 2021.
- ORSSENGO, G. Empirical Model Of The Global Mean Surface Temperature. **Watts Up With That? [blog]**. [S.l.], 3 set. 2012a. Disponível em: <https://wattsupwiththat.com/2012/09/03/empirical-model-of-the-global-mean-surface-temperature/> – Acesso em: 26 abr. 2021.
- ORSSENGO, G. Predictions Of Global Mean Temperatures & IPCC Projections. **Watts Up With That? [blog]**. [S.l.], 25 abr. 2010. Disponível em: <https://wattsupwiththat.com/2010/04/25/predictions-of-global-mean-temperatures-ippc-projections/> – Acesso em: 26 abr. 2021.
- ORSSENGO, G. Projections of Global Mean Surface Temperature. **Orsengo [blog]**. [S.l.], 28 mar. 2013a. Disponível em: <https://web.archive.org/web/20130328015853/http://orsengo.com/GlobalWarming/GmstModel.png> – Acesso em: 26 abr. 2021.
- OSKAR L. 2009. History of solar telescopes. **Experimental Astronomy**. 25(1-3):193-207. [DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10686-009-9173-6>]
- OXFORD. **Word of the Year 2019**. [S.l.]: Oxford University Press, 2019. Disponível em: <https://languages.oup.com/word-of-the-year/2019/> – Acesso em: 29 mar. 2021.
- OZGA, J.G.S. **A harmonia dos limitantes e ilimitados através dos números nos fragmentos de Filolau de Crotona**. Dissertação (Mestrado em Estética e Filosofia da Arte). Departamento de Filosofia, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2018. Disponível em: <https://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/10613> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- PABÓN-CAICEDO, J.D.; ARIAS P.A.; CARRIL, AF. et al. Observed and Projected Hydroclimate Changes in the Andes. **Frontiers in Earth Sciences**, v. 8, artigo n. 61, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/feart.2020.00061> – Acesso em: 06 mai. 2021.
- PADHY, S.K.; SARKAR, S.; PANIGRAHI, M.; PAUL, S. Mental health effects of climate change. **Indian Journal of Occupational & Environ Medicine**, v. 19, n. 1, p. 3-7, jan.-abr. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.4103/0019-5278.156997> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- PAGE, L.; HAJAT, S.; KOVATS, R. Relationship between daily suicide counts and temperature in England and Wales. **British Journal of Psychiatry**, v. 191, n. 2, p. 106-112, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1192/bjp.bp.106.031948> – Acesso em: 29 mar. 2021.
- PAGES 2K CONSORTIUM.; EMILE-GEAY, J.; MCKAY, N. et al. A global multiproxy database for temperature reconstructions of the Common Era. **Scientific Data**, v. 4, artigo n. 170088, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/sdata.2017.88> – Acesso em: 06 mai. 2021.
- PAGES 2K CONSORTIUM.; NEUKOM, R.; BARBOZA, L.A. et al. Consistent multidecadal variability in global temperature reconstructions and simulations over the Common Era. **Nature Geosciences**, v. 12, p. 643–649, 2019. <https://doi.org/10.1038/s41561-019-0400-0>
- PAGES 2K CONSORTIUM.; AHMED, M.; ANCHUKAITIS, K. et al. Continental-scale temperature variability during the past two millennia. **Nature Geosciences**, v. 6, p. 339–346, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/ngeo1797> – Acesso em: 06 mai. 2021.
- PAILLARD, D.; LABEYRIE, L.D.; YIOU, P. AnalySeries 1.0: a Macintosh software for the analysis of geophysical time-series. **Eos, Transactions American Geophysical Union**, v. 77, n. 39, p. 379, 1996. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1029/96E000259> – Acesso em: 12 mai. 2021.
- PAINTER, J. **Climate Change in the Media: Reporting Risk and Uncertainty**. New York: I.B.Tauris & Co. Ltd, 2013. ISBN 9781780765884.

- PÄLIKE H. et al. The Heartbeat of the Oligocene Climate System. **Science**. 314(5807):1894-1898, 2006. [DOI: <http://dx.doi.org/10.1126/science.1133822>]
- PAPALEXIOU, S.M.; RAJULAPATI, C.R.; CLARK, M.P.; LEHNER, F. Robustness of CMIP6 historical global mean temperature simulations: Trends, long-term persistence, autocorrelation, and distributional shape. **Earth's Future**, v. 8, n. 10, artigo e2020EF001667, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1029/2020EF001667> – Acesso em: 01 mai. 2021.
- PAREIRA, M.C. **Matemática e Música – De Pitágoras aos dias de hoje**. Dissertação (Mestrado em Matemática) – Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <http://www2.unirio.br/unirio/ccet/profmat/tcc/2011/tcc-marcos> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- PARKER, G. **Global Crisis: War, Climate Change and Catastrophe in the Seventeenth Century**. Padstow : Yale University Press, 2013. ISBN 9780300153231.
- PARSONS, L.A. Implications of CMIP6 projected drying trends for 21st century Amazonian drought risk. **Earth's Future**, v. 8, artigo e2020EF001608, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1029/2020EF001608> – Acesso em: 29 abr. 2021.
- PARTIDA, J.P.O. **The World Is in a Water Crisis and Climate Change Is Making it Worse**. [S.]: Union of Concerned Scientists, 09 set. 2019. Disponível em: <https://blog.ucsusa.org/pablo-ortiz/the-world-is-in-a-water-crisis-and-climate-change-is-making-it-worse> – Acesso em: 29 mar. 2021.
- PAULESCU M.; PAULESCU E.; GRAVILA P.; BADESCU V. 2013. **Weather Modeling and Forecasting of PV Systems Operation**. London: Springer-Verlag. [ISBN 978-1-4471-4648-3; 358p.]
- PAVILS, G. **Megaliths**. [S.]: Wondermondo, 2021. Disponível em: <https://www.wondermondo.com/megaliths/> – Acesso em: 29 abr. 2021.
- PEDRO Abelardo**. //: WIKIQUOTE. Wikimedia, 2021. Disponível em: [https://pt.wikiquote.org/wiki/Pedro\\_Abelardo](https://pt.wikiquote.org/wiki/Pedro_Abelardo) – Acesso em: 05 abr. 2021.
- PENCK A.; BRÜCKNER E. 1909. **Die Alpen im Eiszeitalter**. Leipzig: Tauchnitz. 1042 p.
- PEREIRA, B.B.; PAIS, M.B.Z.; SALES, P.R.H. **Análise Espectral de Séries Temporais: Uma Introdução para Economia, Engenharia e Estatística**. Rio de Janeiro: Arte Final Leasing Editorial, 1986.
- PEREYRA, M.C.; WARD, L.A. **Harmonic analysis: from Fourier to wavelets**. Providence, R.I. Princeton, NJ: American Mathematical Society Institute for Advanced Study, 2012. [ISBN 978-0-8218-7566-7].
- PESSÔA, A.V. **Uma Poética da Musicalidade na Obra de João Guimarães Rosa**. 2006. Dissertação (Mestrado em Poética) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Faculdade de Letras, Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: [http://www.posciencialit.letras.ufrj.br/images/Posciencialit/td/2006/2-andrepessoa\\_poetica.pdf](http://www.posciencialit.letras.ufrj.br/images/Posciencialit/td/2006/2-andrepessoa_poetica.pdf) – Acesso em: 5 abr. 2020.
- PETIT J.R. et al. Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica. **Nature**. 399(6735):429-436, 1999. [DOI: <http://dx.doi.org/10.1038/20859>]
- PHILANDER S.G. 2008. **Encyclopedia of global warming and climate change**. London: SAGE Publ. Inc. 1720 p. [ISBN 9781412958783]
- PICKOVER, C.A. **Archimedes to Hawking: laws of science and the great minds behind them**. Oxford New York: Oxford University Press, 2008. [ISBN 9780195336115].
- PIERAZZO E.; ARTEMEIEVA N. 2012. Local and Global Environmental Effects of Impacts on Earth. **Elements**. 8(1):55-60. [DOI: <http://dx.doi.org/10.2113/gselements.8.1.55>]
- PIERRI, V. **Consumo excessivo de informações na internet pode impedir a captação de conteúdos de qualidade**. [S.]: Jornal da USP, 8 mar. 2021. Disponível em: <https://jornal.usp.br/?p=394746> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- PIFER, A.; AURANI, K.M. A Teoria Analítica do Calor de Joseph Fourier: Uma Análise Das Bases Conceituais e Epistemológicas. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 37, n. 1, 2015, p. 1603. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1806-11173711681> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- PIHKALA, P. Anxiety and the Ecological Crisis: An Analysis of Eco-Anxiety and Climate Anxiety. **Sustainability**, v. 12, n. 19, p. 7836, 2020a. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su12197836> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- PIHKALA, P. **Climate Anxiety**. Helsinki: MIELI Mental Health Finland, 2019. Disponível em: <https://mieli.fi/en/raportit/climate-anxiety> | ou | [https://mieli.fi/sites/default/files/inline/Yhteiskunta/lausunnot/mieli\\_climate\\_anxiety\\_30\\_10\\_2019.pdf](https://mieli.fi/sites/default/files/inline/Yhteiskunta/lausunnot/mieli_climate_anxiety_30_10_2019.pdf) – Acesso em: 05 abr. 2021.
- PIHKALA, P. Eco-Anxiety and Environmental Education. **Sustainability**, v. 12, n. 23, p. 10149, 2020b. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su122310149> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- PIVETTA M. 2013. A estufa de Araguinha. **Revista Fapesp**. 211:16-21. URL: <<http://revistapesquisa.fapesp.br/2013/09/12/a-estufa-de-araguinha/>>. Acesso: 29.11.2015.
- PIZA, A.P.T. Apontamentos de Metodologia Estatística. **Revista Brasileira de Estatística**, v. 10, n. 37, p. 49-71, jan./mar. 1949.

- PLATÃO. **A República**. Tradução e notas: Maria Helena da Rocha Pereira. 15 ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2017, 512 p. Disponível em: <https://gulbenkian.pt/publication/a-republica/> – Acesso em: 05 abr. 2021. [ISBN 978-972-31-0509-8].
- PLATÃO. **Diálogos**. 5 ed. Tradução e notas: José Cavalcante de Souza, Jorge Paleikat, João Cruz Costa. São Paulo: Nova Cultural, 1991. [ISBN 85-13-00215-1]
- PLAUTZ, J. **The Environmental Burden of Generation Z: Kids are terrified, anxious and depressed about climate change. Whose fault is that?** [S.l.]: The Washington Post, 3 fev. 2020. Disponível em: <https://www.washingtonpost.com/magazine/2020/02/03/eco-anxiety-is-overwhelming-kids-wheres-line-between-education-alarmism/> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- POORE, J.; NEMECEK, T. Reducing food's environmental impacts through producers and consumers. **Science**, v. 360, n. 6392, p. 987-992, 01 jun. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1126/science.aag0216> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- POTAPOVA M.S. 1968. Geology as an historical science of nature. //: **Interaction of sciences in the study of the Earth**. Moscow: Progress. p.117-126. [ISBN 0898756936]
- POTAPOVA M.S. 2008. Geologia como uma ciência histórica da natureza. **Terrae Didactica**, 3(1):86-90. URL: [https://www.ige.unicamp.br/terraedidactica/v3/v3\\_a7.html](https://www.ige.unicamp.br/terraedidactica/v3/v3_a7.html). Acesso 20.12.2015. [Trad. de: Potapova M.S 1968. Geology as an historical science of nature. //: **Interaction of sciences in the study of the Earth**. Moscow: Progress. p.117-126].
- POUSHTER, J.; FAGAN, M. **Americans See Spread of Disease as Top International Threat, Along With Terrorism, Nuclear Weapons, Cyberattacks**. [S.l.]: Pew Research Center, 13 abr. 2020. Disponível em: <https://www.pewresearch.org/global/2020/04/13/americans-see-spread-of-disease-as-top-international-threat-along-with-terrorism-nuclear-weapons-cyberattacks/> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- POUSHTER, J.; HUANG, C. **Climate Change Still Seen as the Top Global Threat, but Cyberattacks a Rising Concern**. [S.l.]: Pew Research Center, 10 fev. 2019. Disponível em: <https://www.pewresearch.org/global/2019/02/10/climate-change-still-seen-as-the-top-global-threat-but-cyberattacks-a-rising-concern/> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- POUSHTER, J.; HUANG, C. **Despite Pandemic, Many Europeans Still See Climate Change as Greatest Threat to Their Countries**. [S.l.]: Pew Research Center, 9 set. 2020. Disponível em: <https://www.pewresearch.org/global/2020/09/09/despite-pandemic-many-europeans-still-see-climate-change-as-greatest-threat-to-their-countries/> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- PR NEWSWIRE. **Nearly Three in Four Millennials Experience “Ecoanxiety”**. Santa Monica: PR Newswire, 17 abr. 2018. Disponível em: <https://www.prnewswire.com/news-releases/nearly-three-in-four-millennials-experience-ecoanxiety-300630657.html> – Acesso em: 29 mar. 2021.
- PRENDERGAST, K. Knowth Passage-grave in Ireland: An Instrument of Precision Astronomy? **Journal of Lithic Studies**, v. 4, n. 4, p. 67–76, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.2218/jls.v4i4.1921> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- PRESTES, A. et al. Araucaria Growth Response to Solar and Climate Variability in South Brazil. **Annales Geophysicae**, v. 36, n. 3, p. 717–729, 9 maio 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5194/angeo-36-717-2018> – Acesso em: 29 mar. 2021.
- PRESTES, A. et al. Sun–Earth Relationship Inferred by Tree Growth Rings in Conifers from Severiano De Almeida, Southern Brazil. **Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics**, v. 73, n. 11–12, p. 1587–1593, jul. 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jastp.2010.12.014> – Acesso em: 29 mar. 2021.
- PRESTES, A. **Relação Sol-Terra estudada através de anéis dos crescimento de coníferas do holoceno recente e do triássico**. 2006. Tese (Doutorado em Geofísica Espacial) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2006. Disponível em: [http://www.dominiopublico.gov.br/pesquisa/DetaileObraForm.do?select\\_action=&co\\_obra=128212](http://www.dominiopublico.gov.br/pesquisa/DetaileObraForm.do?select_action=&co_obra=128212) – Acesso em: 29 mar. 2021.
- PRICE G.D.; TWITCHETT R.J.; WHEELLEY J.R.; BUONO G. 2013. Isotopic evidence for long term warmth in the Mesozoic. **Nature**. 3:1438. [DOI: <http://dx.doi.org/10.1038/srep01438>]
- PROTHERO D. 2006. **After the Dinosaurs: The Age of Mammals (Life of the Past)**. Bloomington: Indiana University Press. [ISBN 0253347335; 384 p.]
- PROUST, D. The harmony of the spheres from pythagoras to Voyager. **Proceedings of the International Astronomical Union**, v. 5, n. S260, p. 358–367, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/s1743921311002535> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- PROVETTI JR., J. Da Natureza do Homem. **Revista Páginas de Filosofia**, v. 7, n. 2, p.1-17, jul./dez. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.15603/2175-7747/pf.v7n2p1-17> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- PTOLEMY. **Harmonics**. Tradução: SOLOMON, J. Leiden, Boston: Brill, 2000. ISBN 9004115919
- PUPIN, J.R. **Introdução às Séries e Transformadas de Fourier e Aplicações no Processamento de Sinais e Imagens**. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Matemática) – Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2011. Disponível em: <https://www.dm.ufscar.br/dm/attachments/article/6/TCCJosiana.pdf> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- PUROHIT, S. **US takes up challenge to accelerate global energy transition**. [S.l.]: Engineering & Technology Magazine, 26 fev. 2021. Disponível em: <https://eandt.theiet.org/content/articles/2021/02/us-takes-up-challenge-to-accelerate-global-energy-transition/> – Acesso em: 05 abr. 2021.



- R DOCUMENTATION. **AirPassengers {datasets}**. Monthly Airline Passenger Numbers 1949–1960. [S./], 2021. Disponível em: <https://stat.ethz.ch/R-manual/R-devel/library/datasets/html/AirPassengers.html> – Acesso em: 12 mai. 2021.
- RACHEL L. 1992. What's So Special about the Past? /n: Nitecki M.H.; Nitecki D.V. (eds.) 1992. **History and Evolution**. Albany: State University of New York Press. p. 55-67. [ISBN 9780791412114]
- RAILSBACK, B. **Wally Broecker's prediction of global warming when the world was cooling**. Fundamentals of Quaternary Science. Athens: University of Georgia, 2019. Disponível em: <http://railsback.org/FQS/FQSBroecker1975WarmingPrediction01.pdf> | ou | <http://railsback.org/FQS/FQS.html> – Acesso em: 12 mai. 2021.
- RAMPINO M.R. 1998. The Galactic Theory of Mass Extinctions: an Update. **Celestial Mechanics and Dynamical Astronomy**. 69(1-2):49-58. [DOI: <http://dx.doi.org/10.1023/A:1008365913573>]
- RAMPINO M.R.; CALDEIRA K. 2015. Periodic impact cratering and extinction events over the last 260 million years. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**. 454(4):3480–3484. [DOI: <https://doi.org/10.1093/mnras/stv2088>]
- RAMPINO M.R.; HAGGERTY B.M. 1996. The “Shiva Hypothesis”: Impacts, Mass Extinctions, and the Galaxy. **Earth, Moon and Planets**. 72(1-3):441–460. [DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/BF00117548>]
- RAMPINO M.R.; HAGGERTY B.M.; PAGANO T.C. 1997. A unified theory of impact crises and mass extinctions: quantitative tests. Earth and Environmental Science Program, New York University, 10003, USA. **Annals of the New York Academy of Sciences**. 822:403–431. [DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1749-6632.1997.tb48358.x>]
- RAMPINO M.R.; SELF S. 1993. Climate-Volcanism Feedback and the Toba Eruption of ~74,000 Years Ago. **Quaternary Research**. 40(3):269–280. [DOI: <http://dx.doi.org/10.1006/qres.1993.1081>]
- RAMSELL, H. **What's giving Britain green guilt?** [S./]: Perkbox, 22 out. 2019. Disponível em: <https://www.perkbox.com/uk/resources/blog/whats-giving-britain-green-guilt> – Acesso em: 29 mar. 2021.
- RANDERS, J.; GOLUKE, U. An earth system model shows self-sustained thawing of permafrost even if all man-made GHG emissions stop in 2020. **Scientific Reports**, v. 10, artigo 18456, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-75481-z> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- RASPOPOV, O. M.; SHUMILOV, O. I.; KASATKINA, E. A. et al. 35-year Climatic Bruckner Cycle – Solar Control of Climate Variability? /n: THE SOLAR CYCLE AND TERRESTRIAL CLIMATE, SOLAR AND SPACE WEATHER EUROCONFERENCE, 25–29 September 2000, Santa Cruz de Tenerife, Tenerife, Spain. **Proceedings** [...]. Noordwijk, Netherlands: ESA Publications Division, 2000, 680 p.; v. 463, ISBN 9290926937, p. 517.
- RAUP D.M.; SEPKOSKI Jr. J.J. 1984. Periodicity of extinctions in the geologic past. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**. 81(3):801–805. URL: <<http://www.pnas.org/content/81/3/801.short>> .
- RAYPOLE, C. **Ecotherapy and the Healing Power of Nature**. [S./]: Healthline, 31 ago.; 2020. Disponível em: <https://www.healthline.com/health/mental-health/ecotherapy> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- REACHOUT. **How to cope with anxiety about climate change**. [S./]: ReachOut, 2021. Disponível em: <https://au.reachout.com/articles/how-to-cope-with-anxiety-about-climate-change> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- REBOITA M.S.; PIMENTA A.P.; NATIVIDADE U.A. 2015. Influência da inclinação do eixo de rotação da Terra na temperatura do ar global. **Terræ Didática**, 11(2):67–77. URL: <[http://www.ige.unicamp.br/terraedidatica/v11\\_2/00.html](http://www.ige.unicamp.br/terraedidatica/v11_2/00.html)> . Acesso: 29.11.2015.
- RECIFE. **Decreto nº 33.080, de 08 de novembro de 2019**. Declara o reconhecimento à Emergência Climática Global. Recife: 2019. Disponível em: [http://meioambiente.recife.pe.gov.br/sites/default/files/midia/arquivos/pagina-basica/decreto\\_reconhecimento\\_a\\_emergencia\\_climatica\\_global\\_pelo\\_municipio\\_do\\_recife.pdf](http://meioambiente.recife.pe.gov.br/sites/default/files/midia/arquivos/pagina-basica/decreto_reconhecimento_a_emergencia_climatica_global_pelo_municipio_do_recife.pdf) – Acesso em: 13 abr. 2021.
- REIMER P.J. et al. IntCal04 Terrestrial Radiocarbon Age Calibration, 0–26 cal kyr BP. **Radiocarbon**. 46(3):1029–1058, 2004. URL: <<https://journals.uair.arizona.edu/index.php/radiocarbon/article/view/4167>> . Acesso: 29.11.2015. [Dados disponíveis na URL: <<http://www.radiocarbon.org/IntCal04.htm>>]
- REIMOLD W.U.; Jourdan F. 2012. Impact! – Bolides, Craters, and Catastrophes. **Elements**. 8(1):19–24. [DOI: <http://dx.doi.org/10.2113/gselements.8.1.19>]
- REINHART, R.J. **Global Warming Age Gap: Younger Americans Most Worried**. [S./]: Gallup, 11 mai. 2018. Disponível em: <https://news.gallup.com/poll/234314/global-warming-age-gap-younger-americans-worried.aspx> – Acesso em: 29 mar. 2021.
- REIS, D.A.; SILVA, L.F.; FIGUEIREDO, N. As complexidades inerentes ao tema “mudanças climáticas”: desafios e perspectivas para o ensino de Física. **Revista Ensaio**, v. 17, n. 3, p. 535–554, set./dez. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1983-21172015170301> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- RENWICK, J. **Expert Reaction**: Climate model suggests we may be past the 'point of no return'. Scimex, 13 nov. 2020. Disponível em: <https://www.scimex.org/newsfeed/we-may-be-past-the-climate-point-of-no-return> – Acesso em: 05 abr. 2021.

- RHODES, J.; CHAN, C. The Impact of Hurricane Katrina on the Mental and Physical Health of Low-Income Parents in New Orleans. **American Journal of Orthopsychiatry**, v. 80, n. 2, p. 237–247, 2010. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1111%2Fj.1939-0025.2010.01027.x> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- RHYTHM**. //: WIKIPÉDIA: a enciclopédia livre. Wikimedia, 2020. Disponível em: <https://en.wiktionary.org/wiki/rhythm> – Acesso em: 05 abr. 2020.
- RIBEIRO G.F. 2016. **Brasilero “previu” existência de 9º planeta; busca existe desde o séc. 19**. UOL Notícias. 22 fev. 2016. URL: <http://noticias.uol.com.br/ciencia/ultimas-noticias/redacao/2016/01/22/brasileiro-previu-ja-em-2012-que-nono-planeta-poderia-existir.htm>. Acesso: 09.02.2016.
- RIBEIRO, MV. **O ensino do conceito de integral, em sala de aula, com recursos da história da matemática e da resolução de problemas**. Dissertação (Mestrado em Educação Matemática) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Campus de Rio Claro, Rio de Claro, 2010. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/91053> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- RICHARDSON R.S. 1946. A Century of Sunspots. **Astronomical Society of the Pacific Leaflets**, 5(213):103-110.
- RIGOZO, N.R.; NORDEMANN, D.J.R. Iterative Regression Analysis of Periodicities in Geophysical Record Time Series. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 16, n. 2–3, p. 149–158, jul. 1998. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-261X1998000200004> – Acesso em: 12 mai. 2021.
- RIPPLE, J.W.; WOLF, C.; NEWSOME, T.M.; BARNARD, P.; MOOMAW, W.R. **The Climate Emergency: 2020 in Review**. [S.l.]: Scientific American, 6 jan. 2021. Disponível em: <https://www.scientificamerican.com/article/the-climate-emergency-2020-in-review/> – Acesso em: 13 abr. 2021
- RIPPLE, W.J.; WOLF, C.; NEWSOME, T.M.; BARNARD, P.; MOOMAW, R.M. World Scientists’ Warning of a Climate Emergency. **BioScience**, v. 70, n. 1, p. 8-12, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/biosci/biz088> – Acesso em: 29 mar. 2021.
- RISBEY, J.; LEWANDOWSKY, S.; LANGLAIS, C. et al. Well-estimated global surface warming in climate projections selected for ENSO phase. **Nature Climate Change**, v. 4, p. 835–840, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/nclimate2310> – Acesso em: 03 mai. 2021.
- RISBEY, J.S.; LEWANDOWSKY, S.; COWTAN, K.; ORESKES, N. et al. A fluctuation in surface temperature in historical context: reassessment and retrospective on the evidence. **Environmental Research Letters**, v. 13, n. 12, artigo 123008, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aaf342> – Acesso em: 26 abr. 2021.
- RITCHIE, H. **Food production is responsible for one-quarter of the world’s greenhouse gas emissions**. [S.l.]: Our World in Data, 6 nov. 2019. Disponível em: <https://ourworldindata.org/food-ghg-emissions> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- RITMO**. //: WIKIPÉDIA: a enciclopédia livre. Wikimedia, 2020. Disponível em: <https://pt.wiktionary.org/wiki/ritmo> – Acesso em: 05 abr. 2020.
- RITTEL, H.W.J.; WEBBER, M.M. Dilemmas in a general theory of planning. **Policy Sciences**, n. 4, 155–169, 1973. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/BF01405730> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- ROADS, C. **The computer music tutorial**. Cambridge: MIT Press, 1996. ISBN 9780262181587.
- ROBERTS, C. D. et al. Quantifying the Likelihood of a Continued Hiatus in Global Warming. **Nature Climate Change**, v. 5, n. 4, p. 337–342, 23 fev. 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1038/NCLIMATE2531> – Acesso em: 12 mai. 2021.
- ROBOCK A.; OMAN L.; STENCHIKOV G.L.; TOON O.B.; BARDEEN C.; TURCO R.P. 2007. Climatic consequences of regional nuclear conflicts. **Atmospheric Chemistry and Physics**, 7(8):2003-2012. [DOI: <http://dx.doi.org/10.5194/acp-7-2003-2007>]
- ROCHA-CAMPOS A.C. 2002. Varvito de Itu, SP. Registro clássico da glaciação neopaleozóica. //: Schobbenhaus C.; Campos D.A.; Queiroz E.T.; Winge M.; Berbert-Born M.L.C. (eds.). 2002. **Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil**. 1ª ed. Brasília: DNPW/ CPRM - Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos (SIGEP). v. 01, p. 147-154. URL: <http://sigep.cprm.gov.br/sitio062/sitio062>. pdf. Acesso 29.09.2015.
- ROCKMORE, D.N. The FFT: an algorithm the whole family can use. **Computing in Science & Engineering**, v. 2, n. 1, p. 60-64, jan./fev. 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/5992.814659> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- RODRIGUES, J.F. Matemática e Música. **Colóquio/Ciências**, nº 23, 1999, p. 17-32. Disponível em: [http://web.archive.org/web/20070612094128/http://cmup.fc.up.pt/cmup/musmat/MatMus\\_99.pdf](http://web.archive.org/web/20070612094128/http://cmup.fc.up.pt/cmup/musmat/MatMus_99.pdf) – Acesso em: 05 abr. 2021.
- RODRÍGUEZ-TOVAR F.J. 2014. Orbital Climate Cycles in the Fossil Record: From Semidiurnal to Million-Year Biotic Responses. **Annual Review of Earth and Planetary Sciences**, 42:69-102. [DOI: <http://dx.doi.org/10.1146/annurev-earth-120412-145922>]
- ROGERS J.J.W.; SANTOSH M. 2004. **Continents and Supercontinents**. Oxford: Oxford University Press, 2004. [ISBN 0195165896; 304 p.]
- RONAN, C. Astronomy and Music, **Sky & Telescope**, v. 50, n. 3, p. 145-149, set. 1975.
- ROPEIK, D. **Journalists Can Be Seduced By Aspects of Risk**. [S.l.]: Nieman Reports, 15 dez. 2002b. Disponível em: <https://niemanreports.org/articles/journalists-can-be-seduced-by-aspects-of-risk/> – Acesso em: 29 mar. 2021.

- ROPEIK, D. **Understanding Factors of Risk Perception**. [S.]: Nieman Reports, 15 dez. 2002a. Disponível em: <https://niemanreports.org/articles/understanding-factors-of-risk-perception/> – Acesso em: 29 mar. 2021.
- ROQUE, T. **História da matemática**: Uma visão crítica, desfazendo mitos e lendas. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2012. [ISBN 978-85-378-0888-7].
- ROSE, D. **Global warming 'pause' may last for 20 more years and Arctic sea ice has already started to recover**. [S.]: Daily Mail Online, 03 nov. 2013c. Disponível em: <https://www.dailymail.co.uk/news/article-2485772/Global-warming-pause-20-years-Arctic-sea-ice-started-recover.html> – Acesso em: 26 abr. 2021.
- ROSE, D. **Global warming stopped 16 years ago, Met Office report reveals: MoS got it right about warming... so who are the 'deniers' now?** [S.]: Daily Mail Online, 13 jan. 2013a. Disponível em: <https://www.dailymail.co.uk/news/article-2220722/Global-warming-The-Mail-Sunday-answers-world-warming-not.html> – Acesso em: 26 abr. 2021.
- ROSE, D. **Global warming stopped 16 years ago, reveals Met Office report quietly released... and here is the chart to prove it**. [S.]: Daily Mail Online, 13 out. 2012a. Disponível em: <https://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-2217286/Global-warming-stopped-16-years-ago-reveals-Met-Office-report-quietly-released-chart-prove-it.html> – Acesso em: 26 abr. 2021.
- ROSE, D. **The Great Green Con no. 1: The hard proof that finally shows global warming forecasts that are costing you billions were WRONG all along**. [S.]: Daily Mail Online, 16 mar. 2013b. Disponível em: <https://www.dailymail.co.uk/news/article-2294560/The-great-green-1-The-hard-proof-finally-shows-global-warming-forecasts-costing-billions-WRONG-along.html> – Acesso em: 26 abr. 2021.
- ROSE, D. **The REALLY inconvenient truths about global warming. Last week we explosively revealed a 16-year 'pause' in rising temperatures - triggering a bitter debate. You decide what the real facts are...** [S.]: Daily Mail Online, 20 out. 2012b. Disponível em: <https://www.dailymail.co.uk/news/article-2220722/Global-warming-The-Mail-Sunday-answers-world-warming-not.html> – Acesso em: 26 abr. 2021.
- ROSE, D. **What happened to the 'warmest year on record'**: The truth is global warming has halted. [S.]: Daily Mail Online, 05 dez. 2010. Disponível em: <https://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-1335798/Global-warming-halted-Thats-happened-warmest-year-record.html> – Acesso em: 26 abr. 2021.
- ROSSETTI, R. Justiça Como Metáfora do Surgimento do Universo. **Páginas de Filosofia**, v. 2, n. 2, p. 3–12, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.15603/2175-7747/pf.v2n2p3-12> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- ROSZAK, T. Green Guilt and Ecological Overload. [S.]: **The New York Times**, seção A, p. 27, 9 jun. 1992. Disponível em: <https://www.nytimes.com/1992/06/09/opinion/green-guilt-and-ecological-overload.html> – Acesso em: 29 mar. 2021.
- ROWLATT, J. **Humans waging 'suicidal war' on nature - UN chief Antonio Guterres**. [S.]: BBC News, 2 dez. 2020. Disponível em: <https://www.bbc.com/news/science-environment-55147647> – Acesso em: 29 mar. 2021.
- RUMENOS, N.N.; SILVA, L.F.; CAVALARI, R.M.F. Significados atribuídos ao tema “Mudanças Climáticas” em Livros Didáticos de Ciências Naturais do Ensino Fundamental II Aprovados pelo PNLD de 2014. **Revista Ensaio**, v. 19, artigo n. e2793, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1983-21172017190113%20> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- RUST, S.A.; SOLES, C. Ecohorror Special Cluster: "Living in Fear, Living in Dread, Pretty Soon We'll All Be Dead". **Interdisciplinary Studies in Literature and Environment**, v. 21, n. 3, p. 509-512, 2014. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/26430358> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- RYAN P.D.; DEWEY J.F. 1997. Continental ecogites and the Wilson Cycle. **Journal of the Geological Society**. **154**(3):437-442. [DOI: <http://dx.doi.org/10.1144/psjgs.154.3.0437>]
- SAAD, L. **Americans as Concerned as Ever About Global Warming**. [S.]: Gallup, 25 mar. 2019. Disponível em: <https://news.gallup.com/poll/248027/americans-concerned-ever-global-warming.aspx> – Acesso em: 29 mar. 2021.
- SABOURIN, M.; LAMARCHE, L. Environmental Social Psychology. *In*: CARTA, S. (ed.). **Psychology**: Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS). Oxford: EOLSS Publishers, 2009. p. 218-234. ISBN 9781905839650.
- SALTZMAN B. 2002. **Dynamical paleoclimatology**: generalized theory of global climate change. San Diego: Acad. Press. 354 p. [ISBN 978-0126173314]
- SAMPLE I. 2013. **Scientists reveal the full power of the Chelyabinsk meteor explosion**. The Guardian. 07 nov. 2013. URL: <http://www.theguardian.com/science/2013/nov/06/chelyabinsk-meteor-russia> >. Acesso: 29.11.2015.
- SAMSET, B.H.; FUGLESTVEDT, J.S.; LUND, M.T. Delayed emergence of a global temperature response after emission mitigation. **Nature Communications**, v. 11, artigo 3261, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41467-020-17001-1> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- SANTOS, D.J.; PEDRA, G.U.; SILVA, M.G.B et al. Future rainfall and temperature changes in Brazil under global warming levels of 1.5°C, 2°C and 4°C. **Sustentabilidade em Debate**, v. 11, n.3, p. 57-73, dez. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.18472/SustDeb.v11n3.2020.33933> – Acesso em: 29 abr. 2021.
- SCAFETTA, N. 2010. Empirical evidence for a celestial origin of the climate oscillations and its implications. **Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics**. **72**(13):951-970. [DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jastp.2010.04.015>]

- SCAFETTA, N. Detection of Non-climatic Biases in Land Surface Temperature Records by Comparing Climatic Data and Their Model Simulations. **Climate Dynamics**, v. 56, n. 9–10, p. 2959–2982, 17 jan. 2021b. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s00382-021-05626-x> – Acesso em: 12 mai. 2021.
- SCAFETTA, N. Discussion on Climate Oscillations: CMIP5 General Circulation Models versus a Semi-Empirical Harmonic Model Based on Astronomical Cycles. **Earth-Science Reviews**, v. 126, p. 321–357, nov. 2013a. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.earscirev.2013.08.008> – Acesso em: 12 mai. 2021.
- SCAFETTA, N. Discussion on common errors in analyzing sea level accelerations, solar trends and global warming. **Pattern Recognition in Physics**, v. 1, n. 1, p. 37–57, 2013c. Disponível em: <https://doi.org/10.5194/prp-1-37-2013> – Acesso em: 29 abr. 2021.
- SCAFETTA, N. Discussion on the Spectral Coherence between Planetary, Solar and Climate Oscillations: A Reply to Some Critiques. **Astrophysics and Space Science**, v. 354, n. 2, p. 275–299, 6 nov. 2014a. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s10509-014-2111-8> – Acesso em: 12 mai. 2021.
- SCAFETTA, N. Empirical Analysis of the Solar Contribution to Global Mean Air Surface Temperature Change. **Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics**, v. 71, n. 17–18, p. 1916–1923, dez. 2009. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jastp.2009.07.007> – Acesso em: 12 mai. 2021.
- SCAFETTA, N. Empirical Evidence for a Celestial Origin of the Climate Oscillations and Its Implications. **Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics**, v. 72, n. 13, p. 951–970, ago. 2010. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jastp.2010.04.015> – Acesso em: 12 mai. 2021.
- SCAFETTA, N. et al. On the Astronomical Origin of the Hallstatt Oscillation Found in Radiocarbon and Climate Records throughout the Holocene. **Earth-Science Reviews**, v. 162, p. 24–43, nov. 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.earscirev.2016.09.004> – Acesso em: 12 mai. 2021.
- SCAFETTA, N. High Resolution Coherence Analysis between Planetary and Climate Oscillations. **Advances in Space Research**, v. 57, n. 10, p. 2121–2135, maio 2016b. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.asr.2016.02.029> – Acesso em: 12 mai. 2021.
- SCAFETTA, N. Multi-Scale Harmonic Model for Solar and Climate Cyclical Variation throughout the Holocene Based on Jupiter–Saturn Tidal Frequencies plus the 11-Year Solar Dynamo Cycle. **Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics**, v. 80, p. 296–311, maio 2012a. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jastp.2012.02.016>
- SCAFETTA, N. ON THE RELIABILITY OF COMPUTER-BASED CLIMATE MODELS. **Italian Journal of Engineering Geology and Environment**, n. 1, p. 49–70, 30 jun. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.4408/IJEGE.2019-01.0-05> – Acesso em: 12 mai. 2021.
- SCAFETTA, N. Problems in Modeling and Forecasting Climate Change: CMIP5 General Circulation Models versus a Semi-Empirical Model Based on Natural Oscillations. **International Journal of Heat and Technology**, v. 34, n. S2, p. S435–S442, 31 out. 2016a. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.18280/ijht.34S235> – Acesso em: 12 mai. 2021.
- SCAFETTA, N. Reconstruction of the Interannual to Millennial Scale Patterns of the Global Surface Temperature. **Atmosphere**, v. 12, n. 2, p. 147, 24 jan. 2021a. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3390/atmos12020147> – Acesso em: 12 mai. 2021.
- SCAFETTA, N. Solar and Planetary Oscillation Control on Climate Change: Hind-Cast, Forecast and a Comparison with the Cmpip5 Gcms. **Energy & Environment**, v. 24, n. 3–4, p. 455–496, jun. 2013b. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1260/0958-305X.24.3-4.455> – Acesso em: 12 mai. 2021.
- SCAFETTA, N. Solar Oscillations and the Orbital Invariant Inequalities of the Solar System. **Solar Physics**, v. 295, n. 2, fev. 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s11207-020-01599-y> – Acesso em: 12 mai. 2021.
- SCAFETTA, N. Testing an Astronomically Based Decadal-Scale Empirical Harmonic Climate Model versus the IPCC (2007) General Circulation Climate Models. **Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics**, v. 80, p. 124–137, maio 2012b. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jastp.2011.12.005> – Acesso em: 12 mai. 2021.
- SCAFETTA, N. The Complex Planetary Synchronization Structure of the Solar System. **Pattern Recognition in Physics**, v. 2, n. 1, p. 1–19, 15 jan. 2014b. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5194/prp-2-1-2014> – Acesso em: 12 mai. 2021.
- SCAFETTA, N.; GRIGOLINI, P.; IMHOLT T. et al. Solar Turbulence in Earth's Global and Regional Temperature Anomalies. **Physical Review E**, v. 69, n. 2, 26 fev. 2004. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevE.69.026303> – Acesso em: 12 mai. 2021.
- SCAFETTA, N.; MAZZARELLA, A. Spectral Coherence between Climate Oscillations and the  $M \geq 7$  Earthquake Historical Worldwide Record. **Natural Hazards**, v. 76, n. 3, p. 1807–1829, 1 jan. 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s11069-014-1571-z> – Acesso em: 12 mai. 2021.
- SCAFETTA, N.; MILANI F.; BIANCHINI A.; ORTOLANI S. 2016. On the astronomical origin of the Hallstatt oscillation found in radiocarbon and climate records throughout the Holocene. **Earth Science Reviews**. 162:24-43. [DOI: <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2016.09.004>]
- SCAFETTA, N.; MILANI, F.; BIANCHINI, A. A 60-Year Cycle in the Meteorite Fall Frequency Suggests a Possible Interplanetary Dust Forcing of the Earth's Climate Driven by Planetary Oscillations. **Geophysical Research Letters**, v. 47, n. 18, artigo n. e2020GL089954, 23 set. 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1029/2020GL089954> – Acesso em: 12 mai. 2021.
- SCAFETTA, N.; MIRANDOLA, A.; BIANCHINI, A. Natural climate variability, part 1: Observations versus the modeled predictions. **International Journal of Heat and Technology**, v. 35, n. Special Issue1, p. S9–S17, 20 set. 2017a. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.18280/ijht.35Sp0102> – Acesso em: 12 mai. 2021.

- SCAFETTA, N.; MIRANDOLA, A.; BIANCHINI, A. Natural climate variability, part 2: Interpretation of the post 2000 temperature standstill. **International Journal of Heat and Technology**, v. 35, n. Special Issue1, p. S18–S26, 20 set. 2017b. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.18280/ijht.35Sp0103> – Acesso em: 12 mai. 2021.
- SCAFETTA, N.; WEST, B. J. Is Climate Sensitive to Solar Variability? **Physics Today**, v. 61, n. 3, p. 50–51, mar. 2008. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1063/1.2897951> – Acesso em: 12 mai. 2021.
- SCAFETTA, N.; WEST, B. J. Phenomenological Reconstructions of the Solar Signature in the Northern Hemisphere Surface Temperature Records since 1600. **Journal of Geophysical Research**, v. 112, artigo n. D24S03, 3 nov. 2007. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1029/2007JD008437> – Acesso em: 12 mai. 2021.
- SCAFETTA, N.; WEST, B. J. Phenomenological Solar Contribution to the 1900–2000 Global Surface Warming. **Geophysical Research Letters**, v. 33, n. 5, 2006a. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1029/2005GL025539> – Acesso em: 12 mai. 2021.
- SCAFETTA, N.; WEST, B. J. Phenomenological Solar Signature in 400 Years of Reconstructed Northern Hemisphere Temperature Record. **Geophysical Research Letters**, v. 33, n. 17, 2006b. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1029/2006GL027142> – Acesso em: 12 mai. 2021.
- SCAFETTA, N.; WEST, B. J. Solar Flare Intermittency and the Earth's Temperature Anomalies. **Physical Review Letters**, v. 90, n. 24, artigo n. 248701-1, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1103/physrevlett.90.248701> – Acesso em: 12 mai. 2021.
- SCAFETTA, N.; WILLSON, R. C. Planetary harmonics in the historical hungarian aurora record (1523–1960). **Planetary and Space Science**, v. 78, p. 38–44, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.pss.2013.01.005> – Acesso em: 29 abr. 2021.
- SCHIERMEIER Q. 2005. **Atlantic currents show signs of weakening**. Nature News. 30 nov. 2005. URL: <<http://www.nature.com/news/2005/051128/full/news051128-9.html>>. Acesso: 29.11.2015.
- SCHIERMEIER Q. 2006. A Sea Change. **Nature**. 439(7074):256-260. [DOI: <http://dx.doi.org/10.1038/439256a>]
- SCHLAGER W. 2005. Secular oscillations in the stratigraphic record – an acute debate. **Facies**. 51(1-4):12-16. [DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10347-005-0066-5>]
- SCHLESINGER, M.; RAMANKUTTY, N. An oscillation in the global climate system of period 65–70 years. **Nature**, v. 367, p. 723–726, 24 fev. 1994. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/367723a0> – Acesso em: 22 abr. 2021.
- SCHMIDT M. Investigating risk perception: a short introduction. /n: SCHMIDT M. **Loss of agro-biodiversity in Vavilov centers, with a special focus on the risks of genetically modified organisms (GMOs)**. Tese (Doutorado), Vienna, Austria, 2004, cap. 3. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/265182234\\_Investigating\\_risk\\_perception\\_a\\_short\\_introduction](https://www.researchgate.net/publication/265182234_Investigating_risk_perception_a_short_introduction) – Acesso em: 29 mar. 2021.
- SCHNEIDER D.A.; KENT D.V.; MELLO G.A. 1992. A detailed chronology of the Australasian impact event, the Brunhes-Matuyama geomagnetic polarity reversal, and global climate change. **Earth and Planetary Science Letters**. 111(2-4):395-405. [DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/0012-821X\(92\)90192-X](http://dx.doi.org/10.1016/0012-821X(92)90192-X)]
- SCHNEIDER, S. Global warming: neglecting the complexities [S.].: **Scientific American**, p. 60-63, jan. 2002.
- SCHNEIDER, S. Interview. [S.].: **Discover**, p. 45–48, out. 1989.
- SCHÖLL M.; STEINHILBER F.; BEER J.; HABERREITER M.; SCHMUTZ M. 2007. Long-term reconstruction of the total solar irradiance based on neutron monitor and sunspot data. **Advances in Space Research**. 40(7):996-999. [DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.asr.2007.02.092>]
- SCHULTE, P. et al. he Chicxulub Asteroid Impact and Mass Extinction at the Cretaceous-Paleogene Boundary. **Science**. 327(5970):1214-1218, 2010. [DOI: <http://dx.doi.org/10.1126/science.1177265>]
- SCHWABE S.H. 1844. Sonnen – Beobachtungen im Jahre 1843 [Solar Observations During 1843]. **Astronomische Nachrichten**, 21(15):234-235. [DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/asna.18440211505>]
- SCOTT, H.; WOODS, H.C. Understanding Links Between Social Media Use, Sleep and Mental Health: Recent Progress and Current Challenges. **Current Sleep Medicine Reports**, v. 5, p. 141–149, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s40675-019-00148-9> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- SCOTT, M. **Short-term Cooling on a Warming Planet**. NOAA Climate News. [S.].: NOAA, 31 dez. 2009. Disponível em: <https://www.climate.gov/news-features/features/short-term-cooling-warming-planet> – Acesso em: 26 abr. 2021.
- SERVIGNE, R.; STEVENS, R. **How Everything Can Collapse: A Manual for our Times**. Polity. Tradução: BROWN, A. Cambridge: Polity Press, 2020. ISBN-139781509541409. E-book. (Tradução da obra em Francês: **Comment tout peut s'effondrer: Petit manuel de collapsologie à l'usage des générations présentes**).
- SHANZER, D.; MARTIANUS. **A philosophical and literary commentary on Martianus Capella's: De nuptiis Philologiae et Mercurii**. Berkeley: University of California Press, 1986. [ISBN 9780520097162].
- SHAVIV N.J.; PROKOPH A.; VEIZER J. 2014. Is the Solar System's Galactic Motion Imprinted in the Phanerozoic Climate? **Scientific Reports**. 4:6150. [DOI: <http://dx.doi.org/10.1038/srep06150>]

- SHAVIV N.J.; VEIZER J. 2003. Celestial driver of Phanerozoic climate? **GSA Today**. 13(7):4-10. URL: <<http://www.geosociety.org/gsatoday/archive/13/7/pdf/i1052-5173-13-7-4.pdf>>. Acesso: 29.11.2015.
- SHELLENBERGER, M. **Apocalypse Never**: Why Environmental Alarmism Hurts Us All. Sydney: HarperCollins, 2020. **E-book**. ISBN 9780063001695.
- SHELLENBERGER, M. **Why Apocalyptic Claims About Climate Change Are Wrong**. [S.l.]: Forbes, 25 nov. 2019. Disponível em: <https://www.forbes.com/sites/michaelsellenberger/2019/11/25/why-everything-they-say-about-climate-change-is-wrong/> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- SHEPPARD, H. J. The Ouroboros and the Unity of Matter in Alchemy: A Study in Origins. **Ambix**, v. 10, n. 2, p. 83-96, 1962. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1179/amb.1962.10.2.83> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- SHIKIDA, P.F.A.; MARGARIDO, M.A. Uma análise econométrica de sazonalidade dos preços da cana-de-açúcar, Estado do Paraná, 2001-2007. **Informações Econômicas**, v. 39, n. 2, fev. 2009. Disponível em: <http://www.iea.sp.gov.br/ftp/iea/publicacoes/IE/2009/tec7-0209.pdf> – Acesso em: 12 mai. 2021.
- SHIN, L.M.; LIBERZON, I. The Neurocircuitry of Fear, Stress, and Anxiety Disorders. **Neuropsychopharmacology**, v. 35, p. 169-191, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/npp.2009.83> – Acesso em: 29 mar. 2021.
- SHUMAN, B. 2006. Paleoclimate Reconstruction - Approaches. In: Elias S.A. ed. 2006. **Encyclopedia of Quaternary Science**. 1ª ed. Amsterdam: Elsevier. p. 1942-1948. [DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/B0-44-452747-8/00008-9>]
- SILVA, L.F. **A temática ambiental, o processo educativo e os temas controversos**: implicações teóricas práticas para o ensino de Física. 2007. Tese (Doutorado em Educação Escolar) – Faculdade de Ciências e Letras (Campus de Araraquara), Universidade Estadual Paulista (UNESP), Araraquara, 2007. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/101614> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- SILVA, L.F.; CAVALARI, R.M.F.; MUENCHEN, C. Compreensões de pesquisadores da área de ensino de física sobre a temática ambiental e as suas articulações com o processo educativo. **Revista Ensaio**, v.17, n. 2, p. 283-307, mai./ago. 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21172015170201> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- SILVA, L.T.; GROENWALD, C.L.O. Matemática e Música: A história da relação e evolução de duas ciências através dos tempos. **Revista Brasileira de Ensino de Ciências e Matemática**, v. 1, n. 2, p. 130-141, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.5335/rbecm.v1i2.8977> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- SILVER, N. (2012). **The Signal and the Noise**: Why So Many Predictions Fail – but Some Don't. New York: Penguin Press, 2012. ISBN 9781101595954.
- SIQUEIRA A.H.B.; MOLION L.C.B. 2015. Análises Climáticas: o filtro Hodrick-Prescott aplicado aos índices atmosféricos da Oscilação Sul e da Oscilação do Atlântico Norte. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 30, n. 3, p. 307-318, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0102-778620130579> – Acesso em: 03 mai. 2021.
- SIQUEIRA, A. H. B.; MOLION, L. C. B. Utilização do Filtro Hodrick-Prescott nas Análises de Dados Climáticos. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 11, 31 dez. 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v11i0.29224> – Acesso em: 12 mai. 2021.
- SLOVIC, P. Perception of risk. **Science**, v. 236, n. 4799, p. 280-285, 17 abr 1987. Disponível em: <https://doi.org/10.1126/science.3563507> – Acesso em: 29 mar. 2021.
- SLOVIC, P. **The Perception of Risk**. New York: Taylor & Francis, 2000. ISBN 9781853835278.
- SLOVIC, P. The Psychology of Risk. **Saúde e Sociedade**, v. 19, n. 4, p. 731-747, 2010. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-12902010000400002> – Acesso em: 29 mar. 2021.
- SOARES, W.R.; MARENGO, J.A.; NOBRE, C.A. Assessment of Warming Projections and Probabilities for Brazil. In: SOARES, W.R.; MARENGO, J.A.; NOBRE, C.A. (eds.). **Climate Change Risks in Brazil**. Cham: Springer International Publishing, 2019. Cap. 2. p. 7-30. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-92881-4\\_2](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-92881-4_2) – Acesso em: 05 mai. 2021.
- SOBRAL, J.B.M. MACHADO, R.B. **Computação Quântica**: Aspectos Físicos e Matemáticos – Uma Abordagem Algébrica. 1ª ed. Florianópolis: INE/CTC/UFSC, 2019. [Série Pensamento Matemático @ Ciência da Computação]. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/197576> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- SOLANKI S.K.; USOSKIN I.G.; KROMER B.; SCHÜSSLER M.; BEER J. 2004. Unusual activity of the Sun during recent decades compared to the previous 11,000 years. **Nature**. 431(7012):1084-1087. [DOI: <http://dx.doi.org/10.1038/nature02995>]
- SOLHEIM, J.-E. Signals from the planets, via the Sun to the Earth. **Pattern Recognition in Physics**, v. 1, n. 1, p. 177-184, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5194/prp-1-177-2013> – Acesso em: 05 mai. 2021.
- SOUZA, C.A.W. **As escalas musicais**. São José dos Campos: INPE, 2009. Disponível em: [http://www.das.inpe.br/~alex/FisicadaMusica/fismus\\_escalas.htm](http://www.das.inpe.br/~alex/FisicadaMusica/fismus_escalas.htm) – Acesso em: 05 abr. 2021.
- SPAGNOLO, L. **A visão utilitarista de John Stuart Mill sobre a felicidade**. 2019. Dissertação (Mestrado em Filosofia) – Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2019. Disponível em: <https://repositorio.uces.br/11338/4691> – Acesso em: 05 abr. 2021.

- SPENCER, R. W.; CHRISTY, J. R.; BRASWELL, W. D. UAH Version 6 Global Satellite Temperature Products: Methodology and Results. **Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences**, v. 53, n. 1, p. 121–130, fev. 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s13143-017-0010-y> – Acesso em: 12 mai. 2021.
- SPENCER, R.W. Global Warming Slowdown: The View from Space. **Roy Spenceer** [blog]. [S.], 16 abr. 2013a. Disponível em: <http://www.drroyspencer.com/2013/04/global-warming-slowdown-the-view-from-space/> – Acesso em: 26 abr. 2021.
- SPIRAL**. [S.]. WorldHistory, 2015. Disponível em: <https://www.worldhistory.biz/ancient-history/63032-spiral.html> – Acesso em: 05 abr. 2020.
- SPIRAL**. //: Dictionary.com, 2020. Disponível em: <http://www.dictionary.com/browse/spiral?s=t> – Acesso em: 05 abr. 2020.
- SPRATT, D.; SUTTON, D. **Climate 'Code Red': The Case for a Sustainability Emergency**. Fitzroy: Friends of the Earth, 2007. ISBN 9781920767082
- STANLEY, T. **The history of philosophy**: containing the lives, opinions, actions and discourses of the philosophers of every sect. Illustrated with the effigies of divers of them. London: W. Battersby, 1701. Disponível em: <https://archive.org/details/b30450494/page/392/mode/2up> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- STEENTJES, K.; PIDGEON, N.; POORTINGA, W.; CORNER, A. et al. (2017). **European Perceptions of Climate Change**: Topline findings of a survey conducted in four European countries in 2016. Cardiff: Cardiff University, mar. 2017. Disponível em: <https://climateoutreach.org/reports/european-perceptions/> – Acesso em: 29 mar. 2021.
- STEFFAN, L. **Quand le militantisme écologique mène à la dépression...** [S.]: Observatoire des Vécus du Collapse (OBVECO), 29 jul. 2020. Disponível em: <https://obveco.com/2020/07/29/quand-le-militantisme-ecologique-mene-a-la-depression/> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- STEFFEN, W.; BROADGATE, W.; DEUTSCH, L.; GAFFNEY, O.; LUDWIG, C. The trajectory of the Anthropocene: The Great Acceleration. **The Anthropocene Review**, v. 2, n. 1, p. 81–98, 2015a. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/2053019614564785> – Acesso em: 29 mar. 2021.
- STEFFEN, W.; RICHARDSON, K.; ROCKSTRÖM, J.; CORNELL, S.E. et al. Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. **Science**, v. 347, n. 6223, artigo n. 1259855, p. 736–746, fev. 2015b. Disponível em: <https://doi.org/10.1126/science.1259855> – Acesso em: 29 mar. 2021.
- STEHR, N.; STORCH, H.S. **Eduard Brückner – Die Geschichte unseres Klimas: Klimaschwankungen und Klimafolgen**. [S.], 2008. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/323389895> – Acesso em: 06 mai. 2021.
- STEHR, N.; STORCH, H.S. **Eduard Bruckner – The Sources and Consequences of Climate Change and Climate Variability in Historical Times**. [S.]: Springer, 2000.
- STEHR, N.; STORCH, H.S.; FLÜGEL, M. The 19th century discussion of climate variability and climate change: analogies for the present debate. **World Resource Review**, v. 7, n. 4, p. 589–604, 1995.
- STEINER J. 1967. The sequence of geological events and the dynamics of the Milky Way galaxy. **Journal of the Geological Society of Australia**. 14(1):99–131. [DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/00167616708728648>]
- STEINHILBER, F.; BEER, J. Prediction of solar activity for the next 500 years. **Journal of Geophysical Research: Space Physics**, v. 118, n. 5, p. 1861–1867, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/jgra.50210> – Acesso em: 03 mai. 2021.
- STEINMAN, B.A.; MANN, M.E.; MILLER, S.K. Atlantic and Pacific multidecadal oscillations and Northern Hemisphere temperatures. **Science**, v. 347, n. 6225, p. 988–991, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1126/science.1257856> – Acesso em: 03 mai. 2021.
- STEPHENSON F.R.; MORRISON L.V. 1995. Long-Term Fluctuations in the Earth's Rotation: 700 BC to AD 1990. **Philosophical Transactions: Physical Sciences and Engineering**. 351(1695):165–202. [DOI: <http://dx.doi.org/10.1098/rsta.1995.0028>]
- STEPHENSON, B. **The music of the heavens**: Kepler's harmonic astronomy. Princeton, NJ: Princeton University Press, 1994. [ISBN 0-691-03439-7].
- STEWART, A.E. Psychometric Properties of the Climate Change Worry Scale. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 18, n. 2, artigo n. 494, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijerph18020494> – Acesso em: 29 mar. 2021.
- STEWART, I. **Significant figures**: the lives and work of great mathematicians. New York: Basic Books, 2017. [ISBN 978-0465096121].
- STIPS A, MACIAS M.D, GARCIA G.E, COUGHLAN C. Global Climate Change: Anthropogenic Warming versus Multidecadal Natural Oscillations: The consequences of the hiatus. //: **Conference Proceedings**: Proceedings of the OCEANS 2014 conference. IEEE; 2014. p. 1–4. JRC88870. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1109/OCEANS-TAIPEI.2014.6964592> – Acesso em: 03 mai. 2021.
- STOCKS, J.L. **On the Heavens**. Oxford: Clarendon Press, 1922. Disponível em: <http://classics.mit.edu/Aristotle/heavens.html> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- STORCH, V.H.; BARKHORDARIAN, A.; HASSELMANN, K.; ZORITA, E. **Can climate models explain the recent stagnation in global warming?** [S.]: jun, 2013. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/255809444\\_Can\\_climate\\_models\\_explain\\_the\\_recent\\_stagnation\\_in\\_global\\_warming](https://www.researchgate.net/publication/255809444_Can_climate_models_explain_the_recent_stagnation_in_global_warming) – Acesso em: 05 abr. 2021.
- STOTHERS R.B. 1985. Terrestrial record of the Solar System's oscillation about the galactic plane. **Nature**. 317(6035):338–341. [DOI: <http://dx.doi.org/10.1038/317338a0>]

- STRUJK, D.J. **Joseph Fourier**. [S.].: Encyclopedia Britannica, jun. 2021. Disponível em: <https://www.britannica.com/biography/Joseph-Baron-Fourier> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- SUMMERS, J.K.; VIVIAN, D.N. Ecotherapy – A Forgotten Ecosystem Service: A Review. **Frontiers in Psychology**, v. 9, artigo 1389, 3 ago. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.01389> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- SUSTEREN, L.V. EXPERT REPORT OF LISE VAN SUSTEREN, M.D. *In: Juliana v. United States*. United States District Court, D. Oregon, Case 6:15-cv-01517-TC. 28 jun. 2018. (Ação Judicial nos EUA). Disponível em: <http://climatecasechart.com/case/juliana-v-united-states/> | ou | [http://blogs2.law.columbia.edu/climate-change-litigation/wp-content/uploads/sites/16/case-documents/2018/20180628\\_docket-615-cv-1517\\_exhibit-7.pdf](http://blogs2.law.columbia.edu/climate-change-litigation/wp-content/uploads/sites/16/case-documents/2018/20180628_docket-615-cv-1517_exhibit-7.pdf) – Acesso em: 05 abr. 2021.
- SUSTEREN, L.V. **Our children face “pretraumatic stress” from worries about climate change**. [S.].: BMJ Opinion, 19 nov. 2020. Disponível em: <https://blogs.bmj.com/bmj/2020/11/19/our-children-face-pretraumatic-stress-from-worries-about-climate-change/> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- SVENSMARK H. 2007. Cosmoclimateology: a new theory emerges. **Astronomy & Geophysics**. 48(1):1.18-1.24. [DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1468-4004.2007.48118.x>]
- SWISS SOCIETY FOR SYMBOL RESEARCH. **Symbolism of the number four**. [S.].: 2019. Disponível em: <http://translate.google.com/translate?js=n&sl=auto&tl=en&u=http://www.symbolforschung.ch/Vierheiten.html#quadrium> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- TAKALA, J.; HÄMÄLÄINEN, P.; SAARELA, K.L.; YUN, L.Y. et al. Global Estimates of the Burden of Injury and Illness at Work in 2012. **Journal of Occupational and Environmental Hygiene**, v. 11, n. 5, p. 326-337, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/15459624.2013.863131> – Acesso em: 29 mar. 2021.
- TALLBLOKE, R. The Carbon Flame War: Final Comment. *In: Tallbloke [blog]*. [S.]., 23 out. 2012. Disponível em: <https://tallbloke.wordpress.com/2012/10/23/the-carbon-flame-war-final-comment/> – Acesso em: 01 mai. 2021.
- TAYLOR, M; MURRAY, J. **‘Overwhelming and terrifying’: the rise of climate anxiety**. [S.].: The Guardian, 10. Fev. 2020. Disponível em: <https://www.theguardian.com/environment/2020/feb/10/overwhelming-and-terrifying-impact-of-climate-crisis-on-mental-health> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- TEBALDI, C.; DEBEIRE, K.; EYRING, V.; FISCHER, E. et al. Climate model projections from the Scenario Model Intercomparison Project (ScenarioMIP) of CMIP6. **Earth System Dynamics**, v. 12, p. 253–293, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.5194/esd-12-253-2021> – Acesso em: 26 abr. 2021.
- TERRA. 2012. **Astrônomo brasileiro dá novo rumo à busca pelo Planeta X**. Notícias. 23 mai. 2012. URL: <<http://noticias.terra.com.br/ciencia/astronomo-brasileiro-da-novo-rumo-a-busca-pelo-planeta-x,28a98116492da310VgnCLD200000bbcceb0aRCRD.html>>. Acesso: 29.11.2015.
- THE CLIMATE DATA FACTORY. **Temperature (annual trend) – Brazil**. [S.]., The Climate Data Factory, 2018. Disponível em: [https://images.theclimatedatafactory.com/country-c5a/COUNTRY-C5A-BRA-temperature-ready-annual\\_trend.png](https://images.theclimatedatafactory.com/country-c5a/COUNTRY-C5A-BRA-temperature-ready-annual_trend.png) – Acesso em: 01 mai. 2021.
- THE CLIMATE EMERGENCY DECLARATION AND MOBILISATION. **Climate emergency declarations in 1,926 jurisdictions and local governments cover 826 million citizens**. The Climate Emergency Declaration and Mobilisation, 13 abr. 2021. Disponível em: <https://climateemergencydeclaration.org/climate-emergency-declarations-cover-15-million-citizens/> – Acesso em: 13 abr. 2021.
- THE ECONOMIST. **A sensitive matter**. [S.].: The Economist, 30 mar. 2013. Disponível em: <https://www.economist.com/science-and-technology/2013/03/30/a-sensitive-matter> – Acesso em: 26 abr. 2021.
- THE GUARDIAN. **The climate emergency is here. The media needs to act like it**. [S.].: The Guardian, 12 abr. 2021. Disponível em: <https://amp.theguardian.com/environment/2021/apr/12/covering-climate-now-guardian-climate-emergency> – Acesso em: 13 abr. 2021.
- THE HOCKEY SHTICK. Ocean Oscillations v. Temperature. **The Hockey Schtick**. [S.]., 21 jan. 2010. Disponível em: <http://hockeyschtick.blogspot.com/2010/01/ocean-oscillations-v-temperature.html> – Acesso em: 22 abr. 2021.
- THE WHITE HOUSE. **Remarks by the President in State of the Union**. Washington: The White House, Office of the Press Secretary, 20 jan. 2015. Disponível em: <https://obamawhitehouse.archives.gov/the-press-office/2015/01/20/remarks-president-state-union-address-january-20-2015> – Acesso em: 29 mar. 2021.
- THÉODORE, R. La musique des sphères. **Revue des Études Grecques**, v. 13, n. 55, 1900, p. 432-449. Disponível em: <https://doi.org/10.3406/reg.1900.6021> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- THOMPSON, I.H. **Ecology, community, and delight**: sources of values in landscape architecture. London New York: E & FN Spon, 2000. [ISBN 0-203-36249-7].
- THOMSON REUTERS FOUNDATION. **One in five UK children report nightmares about climate change**. [S.].: Thomson Reuters Foundation, 2 mar. 2020. Disponível em: <https://www.reuters.com/article/climate-change-children-idUSL1N2AV1FF> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- THOMSON, D. J. The Seasons, Global Temperature, and Precession. **Science**, v. 268, n. 5207, p. 59–68, 1995. doi:10.1126/science.268.5207.59



- THREE INITIATES. **The Kybalion**: A Study of the Hermetic Philosophy of Ancient Egypt and Greece. Chicago: The Yogi Publication Society, 1908. Disponível em: <https://archive.org/details/kybalionstudyofh00thre> | ou | <http://www.kybalion.org/TheKybalion.pdf> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- THUNBERG, G. **It's 2019. Can we all now please stop saying "climate change" and instead call it what it is: climate breakdown, climate crisis, climate emergency, ecological breakdown, ecological crisis and ecological emergency? #ClimateBreakdown #EcologicalBreakdown**. [S.]: Twitter: @GretaThunberg, 4 mai. 2019. Disponível em: <https://twitter.com/gretathunberg/status/1124723891123961856?s=11> – Acesso em: 29 mar. 2021.
- TIWARI R.K.; RAO K.N.N. 2003. Mega geocycles: echoes of astronomical events. **Journal of the Geological Society of India**. **62**(2):181-190.
- TOHVER, E. et al. Geochronological constraints on the age of a Permo-Triassic impact event: U-Pb and <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar results for the 40 km Araguinha structure of central Brazil. **Geochimica et Cosmochimica Acta**. **86**:214-227, 2012. [DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.gca.2012.03.005>]
- TOKIYA, M.; ITANI, O.; OTSUKA, Y. et al. Relationship between internet addiction and sleep disturbance in high school students: a cross-sectional study. **BMC Pediatrics**, v. 20, artigo n. 379, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s12887-020-02275-7> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- TONIOLO J.C.; CARNEIRO C.D.R. 2010. Processos geológicos de fixação do carbono na Terra e aquecimento global. **Terrae Didatica**, **6**(1):31-56. URL: [http://www.ige.unicamp.br/terraedidatica/v6\\_1/v6\\_1\\_A4.html](http://www.ige.unicamp.br/terraedidatica/v6_1/v6_1_A4.html). Acesso 20.12.2015.
- TOON O.B.; ROBOCK A.; TURCO R.P. 2008. Environmental consequences of nuclear war. **Physics Today**. **61**(12):37-42. [DOI: <http://dx.doi.org/10.1063/1.3047679>]
- TOON O.B.; TURCO R.P.; COVEY C. 1997. Environmental perturbations caused by the impacts of asteroids and comets. **Reviews of Geophysics**. **35**(1):41-78. [DOI: <http://dx.doi.org/10.1029/96RG03038>]
- TRELOAR N.C. 2002. Luni-Solar Tidal Influences on Climate Variability. **International Journal of Climatology**. **22**(12):1527–1542. [DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/joc.783>]
- TRELOAR, N.C. A Proposed Exogenous Cause of the Global Temperature Hiatus. **Climate**, v. 7, n. 2, artigo n. 31, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/cli7020031> – Acesso em: 03 mai. 2021.
- TRELOAR, N.C. Deconstructing Global Temperature Anomalies: An Hypothesis. **Climate**, v. 5, n. 4, artigo n. 83, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/cli5040083> – Acesso em: 03 mai. 2021.
- TRENBERTH, K. E. et al. Seasonal Aspects of the Recent Pause in Surface Warming. **Nature Climate Change**, v. 4, n. 10, p. 911–916, 17 ago. 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1038/NCLIMATE2341> – Acesso em: 12 mai. 2021.
- TRENBERTH, K.E.; FASULLO, J.T. An apparent hiatus in global warming? **Earth's Future**, v. 1, n. 1, p. 19–32, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/2013EF000165> – Acesso em: 06 mai. 2021.
- TRÊS INICIADOS. **O Kybalion**. Rio de Janeiro: Arcanum Editora. 2017.
- TRIODOS BANK. **How is the environmental emergency making us feel?** [S.]: Triodos Bank, 8 jul. 2019. Disponível em: <https://www.triodos.co.uk/articles/2019/how-is-the-environmental-crisis-making-us-feel> – Acesso em: 29 mar. 2021.
- TRISKELION. //: WIKIPEDIA, the free encyclopedia, 2020. Disponível em: <https://en.wikipedia.org/wiki/Triskelion> – Acesso em: 05 abr. 2020.
- TRUMBO, C. Constructing climate change: claims and frames in US news coverage of an environmental issue. **Public Understanding of Science**, v. 5, n. 3, p. 269-283, 1996. [DOI: <http://dx.doi.org/10.1088/0963-6625/5/3/006>]
- TUNG, K-K.; CHEN, X. Understanding the Recent Global Surface Warming Slowdown: A Review. **Climate**, v. 6, n. 4, artigo n. 82, 2018. Disponível em: – Acesso em: <https://doi.org/10.3390/cli6040082> 03 mai. 2021.
- TUNG, K-K.; ZHOU, J. Using data to attribute episodes of warming and cooling in instrumental records. **Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)**, v. 110 n. 6, p. 2058-2063, 5 fev. 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1073/pnas.1212471110> – Acesso em: 03 mai. 2021.
- TURCO R.P.; TOON O.B.; ACKERMAN T.P.; POLLACK J.B.; SAGAN C. 1983. Nuclear Winter: Global Consequences of Multiple Nuclear Explosion. **Science**. **222**(4630):1283-1292. [DOI: <http://dx.doi.org/10.1126/science.222.4630.1283>]
- TÜRLER, M. Calendrical Interpretation of Spirals in Irish Megalithic Art. //: DRAXLER, S.; LIPPITSCH, M.E. WOLFSCHMIDT, G. (EDS). **Harmony and Symmetry**. Celestial regularities shaping human culture. Proceedings of the SEAC 2018 Conference in Graz.. Hamburg: SEAC Publications; 2020, p. 54-66. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/1903.07393> – Acesso em: 05 abr. 2021
- TURNER, G.M. **'Is Global Collapse Imminent?'**. MSSI Research Paper No. 4. Parkville: Melbourne Sustainable Society Institute, The University of Melbourne, 2014. Disponível em: <https://sustainable.unimelb.edu.au/publications/research-papers/is-global-collapse-imminent> – Acesso em: 29 mar. 2021.
- TURNER, G.M. A comparison of The Limits to Growth with 30 years of reality. **Global Environmental Change**, v. 18, n. 3, p. 397-411, ago. 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2008.05.001> – Acesso em: 29 mar. 2021.

- TURNER, G.M. On the Cusp of Global Collapse? Updated Comparison of The Limits to Growth with Historical Data. *GAIA – Ecological Perspectives for Science and Society*, v. 21, n. 2, p. 116-124, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.14512/gaia.21.2.10> – Acesso em: 29 mar. 2021.
- UFAM. **Manual de identidade visual da Universidade Federal do Amazonas**. [S.], 2019. Disponível em: <https://edoc.ufam.edu.br/handle/123456789/1996> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- ULABY, N. **'Eco-Horror': Green Panic on the Silver Screen?** [S.]: NPR, 14 jun. 2008. Disponível em: <https://www.npr.org/templates/story/story.php?storyId=91485965> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- UMBROVE J.H.F. 1947. **The Pulse of the Earth**. The Hague (Netherlands): Martinus Nijhoff. 358 p. [ISBN 9789401756419]
- UNITED NATIONS. Secretary-General's remarks on Climate Change. [S.]: United Nations Secretary-General, 10 Set. 2018. Disponível em: <https://www.un.org/sg/en/content/sg/statement/2018-09-10/secretary-generals-remarks-climate-change-delivered> – Acesso em: 29 mar. 2021.
- UNITED NATIONS. **UN climate report a 'red alert' for the planet: Guterres**. [S.]: UN News, 26 fev. 2021. Disponível em: <https://news.un.org/en/story/2021/02/1085812> – Acesso em: 29 mar. 2021.
- USGS. 2000. The Sun and Climate. **U.S. Geological Survey**. Fact Sheet 0095-00. URL: < <http://pubs.usgs.gov/fs/fs-0095-00/fs-0095-00.pdf> >. Acesso: 29.11.2015.
- USP. **Brasão da USP**. [S.], 2021. Disponível em: [http://www.scs.usp.br/identidadevisual/?page\\_id=10](http://www.scs.usp.br/identidadevisual/?page_id=10) – Acesso em: 05 abr. 2021.
- UWA. 2013. **Biggest extinction in history caused by climate-changing meteor**. The University of Western Australia (UWA). 31 jul. 2013. URL: < <http://www.news.uwa.edu.au/201307315921/international/biggest-extinction-history-caused-climate-changing-meteor> >. Acesso: 29.11.2015.
- VAIL P.R.; MITCHUM R.W.; THOMPSON S. 1977. Seismic stratigraphy and global changes in sea level 4, Global cycles of relative changes in sea level. /n: Payton C.E. (ed.) 1977. **Seismic Stratigraphy – Applications to Hydrocarbon Exploration (AAPG Memoir 26)**. Tulsa: American Association of Petroleum Geologists. p. 83-97. [ISBN 0891813020; 516 p.]
- VALENTINUZZI, M. **Music Therapy and the Planets' Consonances**. [S.]: IEEE PULSE, 23 jul. 2018. Disponível em: <https://www.embs.org/pulse/articles/music-therapy-and-the-planets-consonances/> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- VAMVAKAS, C.J. **The founders of Western thought – the Presocratics**: a diachronic parallelism between Presocratic thought and philosophy and the natural sciences. Dordrecht: Springer, 2009. [ISBN 978-1-4020-9790-4].
- van ANDEL T.H. 1994. **New views on an old planet**: a history of global change. 2ª ed. Cambridge: Cambridge University Press. [ISBN 9780521447553; 458 p.]
- van der LINDEN, S, Determinants and Measurement of Climate Change Risk Perception, Worry, and Concern. /n: NISBET, M.C.; SCHAFFER, M.; MARKOWITZ, E.; HO, S.; O'NEILL, S.; THAKER, J. (ed.). **The Oxford Encyclopedia of Climate Change Communication**. Oxford: Oxford University Press, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2953631> – Acesso em: 29 mar. 2021.
- van der SLUIJS, M.A.; PERATT, A.L. The Ourobóros as an Auroral Phenomenon. **Journal of Folklore Research**, v. 46, n. 1, jan./abr.; p. 3-41, 2009. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/40206938> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- van GEEL, B.; ZIEGLER, P.A. Ippc Underestimates the Sun's Role in Climate Change. **Energy & Environment**, v. 24, n. 3-4, p. 431-453, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1260/0958-305x.24.3-4.431> – Acesso em: 03 mai. 2021.
- VEIZER J.; GODDERIS Y.; FRANCOIS L.M. 2000. Evidence for decoupling of atmospheric CO<sub>2</sub> and global climate during the Phanerozoic eon. **Nature**. **408**(6813):698-701. [DOI: <http://dx.doi.org/10.1038/35047044>]
- VERETENENKO, S.V.; OGURTSOV, M.G. 60-Year Cycle in the Earth's Climate and Dynamics of Correlation Links between Solar Activity and Circulation of the Lower Atmosphere. **Geomagnetism and Aeronomy**, v. 58, p. 973-981, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1134/S0016793218070241> – Acesso em: 22 abr. 2021.
- VERSTEEGH G.J.M. 2005. Solar Forcing of Climate. 2: Evidence from the Past. **Space Science Reviews**. **120**(3): 243-286. [DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s11214-005-7047-4>]
- VIANA, M.C.; ANDRADE, L.H. Lifetime Prevalence, age and gender distribution and age-of-onset of psychiatric disorders in the São Paulo Metropolitan Area, Brazil: results from the São Paulo Megacity Mental Health Survey. **Brazilian Journal of Psychiatry**, v. 34 n. 3, p. 249-260, out. 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rbp.2012.03.001> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- VINCENT, E. **Scientists explain what New York Magazine article on "The Uninhabitable Earth" gets wrong**. [S.]: Climate Feedback, 12 jul. 2017. Disponível em: <https://climatefeedback.org/evaluation/scientists-explain-what-new-york-magazine-article-on-the-uninhabitable-earth-gets-wrong-david-wallace-wells/> – Acesso em: 29 mar. 2021.
- VOLTAIRE. /n: WIKIQUOTE. Wikimedia, 2021. Disponível em: <https://en.wikiquote.org/wiki/Voltaire> – Acesso em: 05 abr. 2021.

- von FRESE R.R.B. et al. GRACE gravity evidence for an impact basin in Wilkes Land, Antarctica. **Geochemistry, Geophysics, Geosystems**. 10(2):Q02014, 2009. [DOI: <http://dx.doi.org/10.1029/2008GC002149>]
- von FRESE R.R.B.; KIM H.R.; LEFTWICH T.E.; KIM J.W.; GOLYNSKY A.V. 2013. Satellite magnetic anomalies of the Antarctic Wilkes Land impact basin inferred from regional gravity and terrain data. **Tectonophysics**. 585:185-195. [DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tecto.2012.09.009>]
- VORTEX**. //z: Dictionary.com, 2020. Disponível em: <https://en.wiktionary.org/wiki/vortex> – Acesso em: 05 abr. 2020.
- VOSS, A. The Music of the Spheres: Marsilio Ficino and Renaissance harmonia. **Culture and Cosmos**, v. 2, n. 2, autumn/winter, 1998, p. 16-38. Disponível em: [http://www.cultureandcosmos.org/pdfs/2-2/Voss\\_Music\\_Spheres.pdf](http://www.cultureandcosmos.org/pdfs/2-2/Voss_Music_Spheres.pdf) – Acesso em: 05 abr. 2021.
- WALKER M. 2005. **Quaternary Dating Methods**. Chichester: John Wiley & Sons Ltd. 304 p. [ISBN 0-470-86926-7]
- WALKER, P. **MPs endorse Corbyn's call to declare climate emergency**. [S.].: The Guardian, 1 mai. 2019. Disponível em: <https://www.theguardian.com/environment/2019/may/01/declare-formal-climate-emergency-before-its-too-late-corbyn-warns> – Acesso em: 29 mar. 2021.
- WALLACE-WELLS. D. **The Uninhabitable Earth**. [S.].: New York Magazine, 10 jul. 2017. Disponível em: <https://nymag.com/intelligencer/2017/07/climate-change-earth-too-hot-for-humans.html> – Acesso em: 29 mar. 2021.
- WARD, M. **Climate anxiety is real, and young people are feeling it**. [S.].: The Sydney Morning Herald, 20 set. 2019. Disponível em: <https://www.smh.com.au/lifestyle/health-and-wellness/climate-anxiety-is-real-and-young-people-are-feeling-it-20190918-p52soj.html> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- WATTS, J. **Global warming should be called global heating, says key scientist**. [S.].: The Guardian, 13 dez. 2018. Disponível em: <https://www.theguardian.com/environment/2018/dec/13/global-heating-more-accurate-to-describe-risks-to-planet-says-key-scientist> – Acesso em: 29 mar. 2021.
- WEART, S.R. **The discovery of global warming**. Cambridge, Mass: Harvard University Press, 2003. [ISBN: 0-674-01157-0].
- WEBER, E.U. Experience-Based and Description-Based Perceptions of Long-Term Risk: Why Global Warming does not Scare us (Yet). **Climatic Change**, v. 77, 103–120, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10584-006-9060-3> – Acesso em: 29 mar. 2021.
- WEI, M.; QIAO, F.; GUO, Y. et al. Quantifying the importance of interannual, interdecadal and multidecadal climate natural variabilities in the modulation of global warming rates. **Climate Dynamics**, v. 53, p. 6715–6727, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00382-019-04955-2> – Acesso em: 03 mai. 2021.
- WEINSTOCK, J.A. American Monsters. //z: CROW, C.L (ed.). **A Companion to American Gothic**. 2014. Cap. 4, p. 41-55. ISBN 9780470671870. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/9781118608395.ch4> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- WERNER, R.; VALEV, D.; DANOV, D.; GUINEVA, V.; Kirillov, A. (2015). Analysis of global and Hemispheric Temperature Records and prognosis. *Advances in Space Research*, 55(12), 2961–2973. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2015.03.005>
- WHITMIRE D.P.; JACKSON A.A. 1984. Are periodic mass extinctions driven by a distant solar companion? **Nature**. 308(5961):713-715. [DOI: <http://dx.doi.org/10.1038/308713a0>]
- WHITMIRE D.P.; MATESE J.J. 1985. Periodic comet showers and planet X. **Nature**. 313(5997):36-38. [DOI: <http://dx.doi.org/10.1038/313036a0>]
- WILLIAMS M.A.J. et al. Environmental impact of the 73 ka Toba super-eruption in South Asia. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**. 284(3-4):295-314, 2009. [DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.palaeo.2009.10.009>]
- WILLIAMS, J.M. **Earth Temperature Anomalies are Not 2nd Degree Polynomial Behaviors**. [S.]., 2015. Disponível em: [http://pages.swcp.com/~imw-mcw/earth\\_temperature\\_anomalies\\_NOT\\_2deg\\_polynomial.htm](http://pages.swcp.com/~imw-mcw/earth_temperature_anomalies_NOT_2deg_polynomial.htm) – Acesso em: 03 mai. 2021.
- WILLIS J.K. 2010. Can in situ floats and satellite altimeters detect long-term changes in Atlantic Ocean overturning? **Geophysical Research Letters**. 37(6):L06602. [DOI: <http://dx.doi.org/10.1029/2010GL042372>]
- WILSON I.R.G. 2013. Are global mean temperatures significantly affected by long-term lunar atmospheric tides? **Energy & Environment**. 24(3-4):497-508. [DOI: <http://dx.doi.org/10.1260/0958-305X.24.3-4.497>]
- WINDOW function**. //z: WIKIPÉDIA: a enciclopédia livre. Wikimedia, 2021. Disponível em: [https://en.wikipedia.org/wiki/Window\\_function](https://en.wikipedia.org/wiki/Window_function) – Acesso em: 05 abr. 2021.
- WITZE A. 2016. Evidence grows for giant planet on fringes of Solar System. **Nature**. 529(7586):266-267. [DOI: <http://dx.doi.org/10.1038/529266a>]
- WOOD R.A.; VELLINGA M.; THORPE R. 2003. Global Warming and thermohaline circulation stability. **Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences**. 361(1810):1961-1975. [DOI: <http://dx.doi.org/10.1098/rsta.2003.1245>]
- WOOD, R. Natural ups and downs. **Nature**, v. 453, p. 43–45, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/453043a> – Acesso em: 26 abr. 2021.

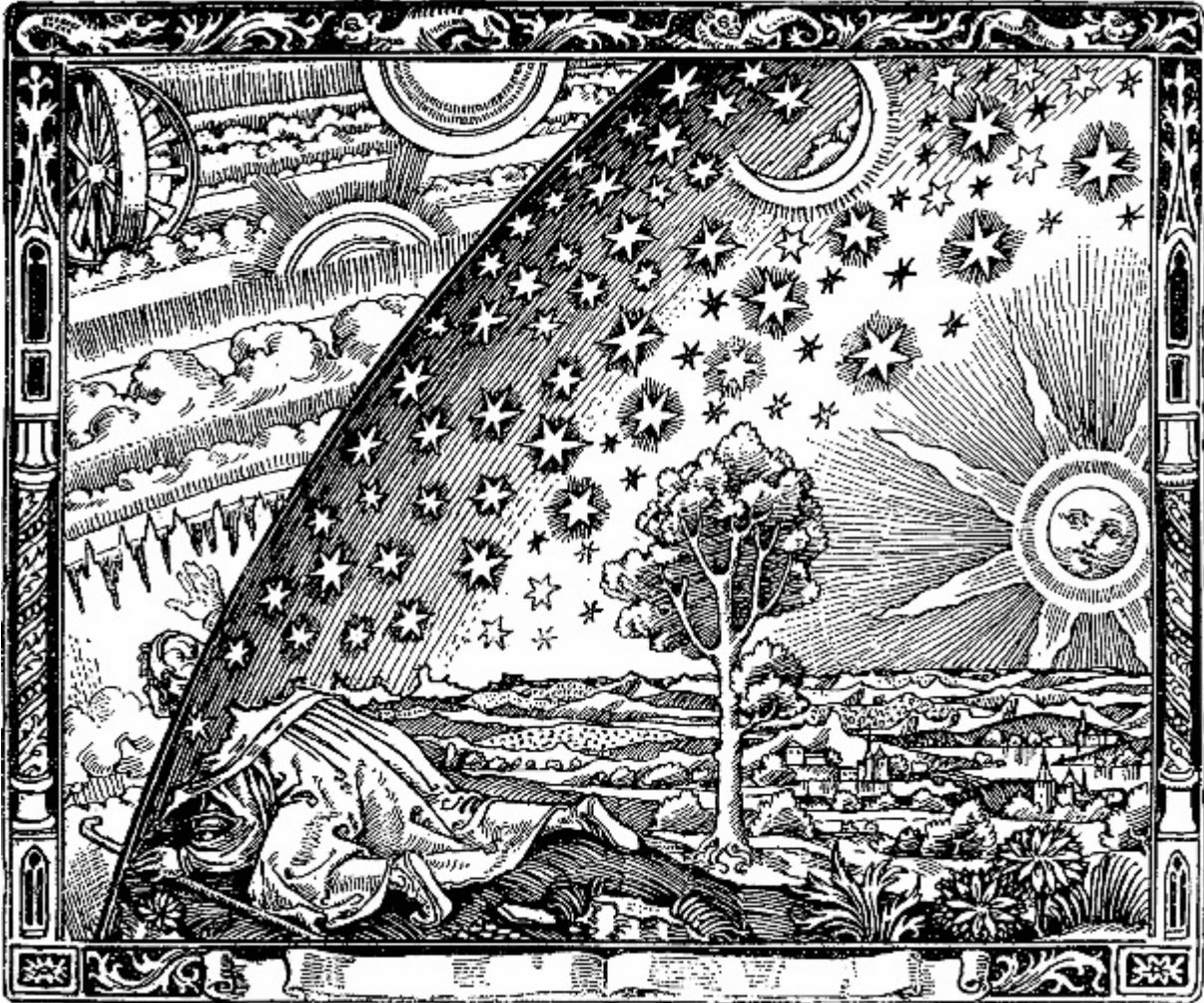
- WORLD BANK. **Poverty Overview**. [S./]: The World Bank, out. 2020. Disponível em: <https://www.worldbank.org/en/topic/poverty/overview> – Acesso em: 29 mar. 2021.
- WORLD BANK. **Shock Waves: Managing the Impacts of Climate Change on Poverty**. Washington: The World Bank, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1596/978-1-4648-0673-5> – Acesso em: 29 mar. 2021.
- WORLD BANK. **Unemployment, total (% of total labor force) (modeled ILO estimate)**. [S./]: THE WORLD BANK, abr. 2021. Disponível em: <https://data.worldbank.org/indicator/SL.UEM.TOTL.ZS?end=2020&start=1991&view=chart> – Acesso em: 13 abr. 2021.
- WORLD ECONOMIC FORUM. **The Global Risks Report 2020**. Insight Report. 15. ed. Geneva: World Economic Forum, 2020. Disponível em: [http://www3.weforum.org/docs/WEF\\_Global\\_Risk\\_Report\\_2020.pdf](http://www3.weforum.org/docs/WEF_Global_Risk_Report_2020.pdf) – Acesso em: 29 mar. 2021.
- WORLD RESOURCES INSTITUTE. **Updated Global Water Risk Atlas Reveals Top Water-Stressed Countries and States**. [S./]: World Resources Institute, ago. 2019. Disponível em: <https://www.wri.org/news/2019/08/release-updated-global-water-risk-atlas-reveals-top-water-stressed-countries-and-states> – Acesso em: 29 mar. 2021.
- WORM H.U. 1997. A link between geomagnetic reversals and events and glaciations. **Earth and Planetary Science Letters**. 147(1-4):55-67. [DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0012-821X\(97\)00008-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0012-821X(97)00008-3)]
- WU, J.; SNELL, G.; SAMJI, H. Climate anxiety in young people: a call to action. **The Lancet Planetary Health**, v. 4, n. 10, E435-E436, out. 2020. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(20\)30223-0](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(20)30223-0) – Acesso em: 05 abr. 2021.
- WU, T. et al. New Insights into Natural Variability and Anthropogenic Forcing of Global/Regional Climate Evolution. **Climate and Atmospheric Science**, v. 2, n. 1, 11 jun. 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1038/s41612-019-0075-7> – Acesso em: 12 mai. 2021.
- WU, Z.; HUANG, N.E.; LONG, S.R.; PENG, C.K. On the trend, detrending, and variability of nonlinear and nonstationary time series. **Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)**, v. 104, n. 38, p.14889-14894; 18 set. 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1073/pnas.0701020104> – Acesso em: 22 abr. 2021.
- WU, Z.; HUANG, N.E.; WALLACE, J.M. et al. On the time-varying trend in global-mean surface temperature. **Climate Dynamics**, v. 37, artigo n. 759, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00382-011-1128-8> – Acesso em: 03 mai. 2021.
- WWF. **Living Planet Report 2020: Bending the curve of biodiversity loss**. Gland: WWF, 2020. **E-book**. ISBN 9782940529995. Disponível em: <https://www.worldwildlife.org/publications/living-planet-report-2020> – Acesso em: 29 mar. 2021.
- WYATT, M.G.; KRAVTSOV, S.; TSONIS, A.A. Atlantic Multidecadal Oscillation and Northern Hemisphere's climate variability. **Climate Dynamics**, v. 38, p. 929–949, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00382-011-1071-8> – Acesso em: 03 mai. 2021.
- WYATT, T. Climate crisis could turn 40% of Amazon rainforest into savana. **Independent**, 05 out. 2020, Disponível em: <https://www.independent.co.uk/climate-change/news/amazon-rainforest-savanna-climate-change-rain-b809562.html> – Acesso em: 29 mar. 2021.
- WYNES, S.; NICHOLAS, K.A. The climate mitigation gap: education and government recommendations miss the most effective individual actions. **Environmental Research Letters**, v. 12, artigo n. 074024, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa7541> – Acesso em: 13 abr. 2021.
- XIE, SP. Leading the hiatus research surge. **Nature Climate Change**, v. 6, p. 345–346, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/nclimate2973> – Acesso em: 03 mai. 2021.
- YAO, SL.; HUANG, G.; WU, RG. et al. The global warming hiatus—a natural product of interactions of a secular warming trend and a multi-decadal oscillation. *Theor Appl Climatol* 123, 349–360 (2016). <https://doi.org/10.1007/s00704-014-1358-x>
- YASUDA I.S.; OSAFUNE H.T. 2006. Possible explanation linking 18.6-year period nodal tidal cycle with bi-decadal variations of ocean and climate in the North Pacific. **Geophysical Research Letters**. 33(8):L08606 [DOI: <http://dx.doi.org/10.1029/2005GL025237>]
- YEO, S. Where climate cash is flowing and why it's not enough. **Nature**, v. 573, p. 328-331, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/d41586-019-02712-3> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- YNDESTAD, H. The influence of the lunar nodal cycle on Arctic Climate. **ICES Journal of Marine Science**, v. 63, n. 3, p. 401–420, 2006. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1016/j.icesjms.2005.07.015> – Acesso em: 06 ago. 2021.
- YON, M. **The city of Ugarit at Tell Ras Shamra**. Winona Lake: Eisenbrauns, 2006. ISBN 9781575060293.
- YOUNES, F.; HALAWI, G.; JABBOUR, H.; OSTA, N.E. et al. Internet Addiction and Relationships with Insomnia, Anxiety, Depression, Stress and Self-Esteem in University Students: A Cross-Sectional Designed Study. **PLoS One**, v. 11, n. 9, e0161126, 12 set. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0161126> – Acesso em: 05 abr. 2021.
- ZHANG C. 2005. Madden-Julian Oscillation. **Reviews of Geophysics**. 43(2):RG2003. [DOI: <http://dx.doi.org/10.1029/2004RG000158>]
- ZOTOV, L. et al. Multidecadal and 6-year variations of LOD. **Journal of Physics: Conference Series**, v. 1705, p. 012002, dez. 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/1705/1/012002> – Acesso em: 12 mai. 2021.

- ZOTOV, L.; BIZOUARD, C. SHUM, C.K. A possible interrelation between Earth rotation and climatic variability at decadal time-scale. *Geodesy and Geodynamics*, v. 7, n. 3, p. 216-222, mai. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.geog.2016.05.005> – Acesso em: 03 mai. 2021.
- ZUFFO A.C. 2015. O Sol, o motor das variabilidades climáticas. *Revista DAE*. **63**(198):6-24. [DOI: <http://dx.doi.org/10.4322/dae.2014.142>]
- ZUMMO, L.; GARGROETZI, E.; GARCIA, A. Youth voice on climate change: using factor analysis to understand the intersection of science, politics, and emotion. *Environmental Education Research*, v. 26, n. 8, p. 1207-1226, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/13504622.2020.1771288> – Acesso em: 05 abr. 2021.





*O que é a verdade?  
A verdade está nos céus...*



Gravura<sup>598</sup> no livro “L’atmosphère: météorologie populaire” (1888),  
de Camille Flammarion [1842–1925], astrônomo francês.

*Ao estudar a atmosfera, é possível deslindar o que há além dela...*

---

<sup>598</sup> Fonte: FLAMMARION (2021).