UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ARTES, CIÊNCIAS E HUMANIDADES
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MODELAGEM DE SISTEMAS
COMPLEXOS

WILLIAM ROSSETI

**Meio ambiente e estatura humana: a sazonalidade da duração efetiva do dia
como resposta para a variação clinal observada no Brasil**

São Paulo

2019

WILLIAM ROSSETI

**Meio ambiente e estatura humana: a sazonalidade da duração efetiva do dia
como resposta para a variação clinal observada no Brasil**

Versão original

Dissertação apresentada à Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências pelo Programa de Pós-graduação em Modelagem de Sistemas Complexos.

Área de concentração: Sistemas Complexos

Orientador: Profa. Dra. Ana Amélia Benedito Silva

São Paulo

2019

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

CATALOGAÇÃO-NA-PUBLICAÇÃO

(Universidade de São Paulo. Escola de Artes, Ciências e Humanidades. Biblioteca)

Rosseti, William

Meio ambiente e estatura humana: a sazonalidade da duração efetiva do dia como resposta para a variação clinal observada no Brasil / William Rosseti ; orientadora Ana Amélia Benedito Silva – 2019.
66 f. : il.

Dissertação (Mestrado em Ciências) - Programa de Pós-Graduação em Modelagem de Sistemas Complexos, Escola de Artes, Ciências e Humanidades, Universidade de São Paulo.
Versão original.

1. Antropometria. 2. Estatura - Brasil - Variações; Fatores ambientais. 3. Adolescentes - Brasil. 4. Desenvolvimento físico - Variações; Influências; Fatores ambientais. 5. Radiação solar e terrestre. I. Silva, Ana Amélia Benedito, orient. II. Título.

CDD 22.ed.– 599.94

Dissertação de autoria de William Rosseti, sob o título “**Meio ambiente e estatura humana: a sazonalidade da duração efetiva do dia como resposta para a variação clinal observada no Brasil**”, apresentada à Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Ciências pelo Programa de Pós-graduação em Modelagem de Sistemas Complexos, na área de concentração Sistemas Complexos, aprovada em _____ de _____ de _____ pela comissão julgadora constituída pelos doutores:

Prof. Dr. _____
Instituição: _____
Presidente

Prof. Dr. _____
Instituição: _____

Prof. Dr. _____
Instituição: _____

Prof. Dr. _____
Instituição: _____

Dedico este trabalho à minha família e aos meus professores: aos de ontem e aos de hoje.

Agradecimentos

Agradeço à orientadora Ana Amélia. Suas palavras são fundamentais para que a minha vontade de fazer ciência pudesse começar a fazer-se real.

Agradeço à Universidade de São Paulo pela oportunidade de ser um aluno de mestrado com todas as opções e qualidade que a instituição oferece.

Agradeço ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo pela oportunidade de lecionar e aprender.

Agradeço à Universidade Federal de São Paulo que incentivou minha qualificação acadêmica enquanto servi à instituição.

Agradeço à Universidade Católica de Santos pela licenciatura em matemática e pelas experiências enriquecedoras.

Agradeço à Faculdade de Tecnologia do Estado de São Paulo pelo curso tecnológico oferecido.

“É preciso, pois, acreditar que de tal modo as ciências estão todas entrelaçadas entre si, que é muito mais fácil aprendê-las todas ao mesmo tempo do que separá-las umas das outras[...]todas têm conexão entre si e mútua dependência”
(René Descartes, 1628)

Resumo

ROSSETI, William. **Meio ambiente e estatura humana**: a sazonalidade da duração efetiva do dia como resposta para a variação clinal observada no Brasil. 2019. 66 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola de Artes, Ciências e Humanidades, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019.

A associação entre latitude e o tamanho corporal dos seres vivos é um fenômeno discutido por muitos pesquisadores. Foi observado que os corpos tendem a ser maiores em locais mais distantes do Equador e a temperatura ambiental já foi considerada a causa principal desse aumento corporal. O objetivo geral deste trabalho é verificar a relação entre altura e variáveis climáticas no Brasil, seguido dos objetivos específicos: i) construir cartogramas representativos das variáveis climáticas no Brasil; ii) verificar a existência de relação entre altura e latitude na população brasileira; iii) determinar, utilizando métodos estatísticos, quais elementos climáticos influenciam no crescimento das pessoas e iv) discutir a influência da sazonalidade dos elementos climáticos nas respostas fisiológicas do organismo humano. Para contemplar os objetivos colocados, este trabalho utilizou dados antropométricos, geográficos e climáticos previamente publicados por institutos de pesquisa brasileiros para investigar a existência e possíveis causas da correlação entre latitude e estatura de adolescentes de 12 anos de idade do sexo feminino e 14 anos de idade do sexo masculino. A variação latitudinal é seguida pela variação de diversos elementos climáticos, os aqui estudados foram: temperatura, insolação, radiação solar global e duração efetiva do dia. Os modelos matemáticos e de regressão linear múltipla mostram que o peso corporal juntamente a alguma variável climática são os melhores estimadores da estatura nas idades analisadas e a duração efetiva do dia acima de determinada intensidade luminosa é a variável climática que mais vezes mostrou-se estatisticamente relevante. Uma resposta para a existência da variação clinal na estatura dos seres humanos pode estar relacionada com a influência ambiental, que é dada em função da localização geográfica e da sazonalidade sobre a fisiologia humana.

Palavras-chaves: Crescimento. Meio ambiente. Sazonalidade. Duração efetiva do dia. Modelos estatísticos. Fisiologia.

Abstract

ROSSETI, William. **Environment and human stature**: the seasonality of the effective day length as a response to the clinal variation observed in Brazil. 2019. 66 p.
Dissertation (Master of Science) – School of Arts, Sciences and Humanities, University of São Paulo, São Paulo, 2019.

The association between latitude and body size of living beings is a phenomenon discussed by many researchers. It was observed that the bodies tend to be larger in places more distant from the Equator and the environmental temperature has already been considered the main cause of this corporal increase. The general objective of this work is to verify the relationship between height and climatic variables in Brazil, followed by the specific objectives: i) to construct cartograms representative of climatic variables in Brazil; ii) verify the existence of a relationship between height and latitude in the Brazilian population; iii) determine, using statistical methods, which climatic elements influence the growth of people, and iv) discuss the seasonal influence of climatic elements on the physiological responses of the human organism. In order to contemplate the objectives, this work used anthropometric, geographic and climatic data previously published by Brazilian research institutes to investigate the existence and possible causes of the correlation between latitude and height of 12-year-old female and 14-year-old adolescents male. The latitudinal variation is followed by the variation of several climatic elements, the ones studied here were: temperature, insolation, global solar radiation and effective day length. The mathematical and multiple linear regression models show that body weight together with some climatic variable are the best height estimators in the analyzed ages and the effective day length above a determined luminous intensity is the climatic variable that has shown to be statistically more relevant. An answer for the existence of clinal variation in human stature may be related to environmental influence, which is given by geographic location and seasonality on human physiology.

Keywords: Growth. Environment. Seasonality. Effective day length. Statistical models. Physiology.

Lista de figuras

Figura 1 – Variação clinal em indígenas e esquimós nas Américas.	18
Figura 2 – Mapa da distribuição geográfica dos adolescentes de 14 anos de idade pela estatura. Padronização de um período 13 anos (1996 a 2008) em 47 regiões japonesas.	19
Figura 3 – Distribuição da altura masculina em diversos países do mundo.	20
Figura 4 – Ordenação dos estados brasileiros de acordo com a latitude das capitais.	24
Figura 5 – Velocidade de crescimento.	25
Figura 6 – Média da temperatura anual das Normais Climatológicas 1961-1990 do Brasil. Junho representa o início do inverno e dezembro representa o início do verão.	28
Figura 7 – Distribuição da insolação total anual média no Brasil. Junho representa o início do inverno e dezembro representa o início do verão.	31
Figura 8 – Radiação solar global diária no Brasil. Junho representa o início do inverno e dezembro representa o início do verão.	32
Figura 9 – Domínio da radiação solar em micro-ondas (μ).	33
Figura 10 – Duração efetiva do dia em 4.000lx no solstício de inverno e verão. Junho representa o início do inverno e dezembro representa o início do verão.	36
Figura 11 – Representação da intensidade de luz visível para várias intensidades luminosas.	37
Figura 12 – Distribuição da altura do sexo feminino aos 12 e 19 anos (A) e do sexo masculino aos 14 e 19 anos de idade (B).	43
Figura 13 – Mapas da distribuição da altura e do peso do sexo feminino aos 12 anos (A e B) e do sexo masculino aos 14 anos (C e D) no Brasil.	45
Figura 14 – Matriz de dispersão, correlação e histogramas do modelo de estimação da altura feminina aos 12 anos de idade em junho.	46
Figura 15 – Normalidade dos resíduos, resíduos versus valores ajustados e resíduos ordenados - Modelo I.	47
Figura 16 – Matriz de dispersão, correlação e histogramas do modelo de estimação da altura feminina aos 12 anos de idade em dezembro.	49

Figura 17 – Normalidade dos resíduos, resíduos versus valores ajustado e resíduos ordenados - Modelo II.	50
Figura 18 – Matriz de dispersão, correlação e histogramas do modelo de estimação da altura masculina aos 14 anos de idade em junho.	51
Figura 19 – Normalidade dos resíduos, resíduos versus valores ajustados e resíduos ordenados - Modelo III.	52
Figura 20 – Matriz de dispersão, correlação e histogramas do modelo de estimação da altura masculina aos 14 anos de idade em dezembro.	53
Figura 21 – Normalidade dos resíduos, resíduos versus valores ajustado e resíduos ordenados - Modelo IV.	54

Lista de quadros

Quadro 1 – Latitude e longitude dos estados brasileiros	23
Quadro 2 – Altura e peso de meninas de 12 anos e meninos de 14 anos, nos estados brasileiros.	26
Quadro 3 – Temperatura média anual e número de estações meteorológicas nos 26 estados brasileiros.	29
Quadro 4 – Insolação total anual média e número de estações meteorológicas nos 26 estados brasileiros.	30
Quadro 5 – Radiação solar global média nos 26 estados brasileiros	33

Lista de tabelas

Tabela 1 – Padronização da altura do sexo masculino e feminino.	44
Tabela 2 – Resultados da regressão linear múltipla e testes de pressupostos do Modelo I.	47
Tabela 3 – Resultados da regressão linear múltipla e testes de pressupostos do Modelo II.	49
Tabela 4 – Resultados da regressão linear múltipla e testes de pressupostos do Modelo III.	51
Tabela 5 – Resultados da regressão linear múltipla e testes de pressupostos do Modelo IV.	53

Sumário

1	Introdução	14
2	Revisão bibliográfica	16
3	Métodos	21
3.1	Área de estudo	22
3.2	Dados antropométricos	23
3.3	Dados climáticos	27
3.3.1	Temperatura	27
3.3.2	Insolação	28
3.3.3	Radiação solar global	31
3.3.4	Duração efetiva do dia	34
3.4	Análise estatística	37
4	Resultados	42
4.1	Modelo I - Altura feminina aos 12 anos em junho	46
4.2	Modelo II - Altura feminina aos 12 anos em dezembro	48
4.3	Modelo III - Altura masculina aos 14 anos em junho	50
4.4	Modelo IV - Altura masculina aos 14 anos em dezembro	52
5	Discussão e Considerações Finais	55
5.1	Peso corporal	57
5.2	Temperatura	57
5.3	Insolação	58
5.4	Radiação solar global	59
5.5	Duração efetiva do dia e sazonalidade	59
5.6	Respostas fisiológicas	60
5.7	Genética	61
5.8	Limitações e etapas posteriores	62
	Referências¹	64

¹ De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6023.

1 Introdução

A relação entre o volume corporal dos seres vivos e latitude é discutida há quase dois séculos (JAMES, 1970). Estudos ecológicos, cuja unidade de análise são grupos populacionais, relatam a ocorrência de variação no padrão da estatura dos humanos em função da latitude terrestre, indicando a possibilidade de existência de algum fator ambiental que influencie a estatura dos grupos populacionais (NEWMAN, 1953; JAMES, 1970; EVELETH; TANNER, 1990).

Yokoya et al. (2012) mostra que no Japão, a distribuição da altura dos jovens do sexo masculino de quatorze anos de idade, moradores de regiões que são latitudinalmente opostas, não é homogênea: a diferença a maior é observada nas regiões mais ao norte e é de aproximadamente 0,1cm a 0,5cm. No sexo feminino ocorre fenômeno semelhante, aos quatorze anos, a diferença está compreendida entre 0,1cm e 0,3cm, com as alturas maiores sendo observadas em regiões mais distantes ao Equador.

Como será visto nesta dissertação, cuja inspiração inicial é o trabalho de Yokoya et al. (2012), pesquisas antropométricas realizadas no Brasil indicam que a estatura dos brasileiros é geralmente maior nos estados mais ao sul do país (IBGE, 2004 e 2010), ou seja, a tendência é que as alturas sejam maiores em latitudes menores, considerando que a latitude decresce no sentido Equador - Polo Sul, pois torna-se cada vez mais negativa. A constatação da existência de um gradiente geográfico na distribuição da altura dos brasileiros, a princípio, vem corroborar um padrão existente em outras regiões do mundo: a distribuição da altura dos grupos populacionais aparenta seguir um fator geográfico, que no caso, é a latitude (GRASGRUBER et. al., 2016; YOKOYA et al., 2012).

Além de apontar a existência do gradiente geográfico na distribuição da altura dos brasileiros, outro objetivo é identificar quais possíveis elementos ambientais podem ser importantes no desenvolvimento da altura em função da latitude. Sabe-se que a composição alimentar é um importante fator determinante do crescimento, neste trabalho, o peso corporal é utilizado como uma variável índice de ingestão alimentar, assim como proposto por Yokoya et al. (2012). A atuação das variáveis ambientais: temperatura, insolação, radiação solar global e duração efetiva do dia em uma predeterminada intensidade luminosa, surgem com frequência na literatura como possíveis influenciadores do desenvolvimento corporal humano (NEWMAN, 1953; SCHELL; KNUTSEN, 2002; YOKOYA et al., 2012;

YOKOYA; HIGUCHI, 2016) e por isso são adicionadas aos modelos. A sazonalidade dos elementos climáticos também é considerada nos modelos desta dissertação, pois, estudos apontam que há variação na velocidade do crescimento humano de acordo com determinada estação do ano (MARSHALL e SWAN, 1971; SCHELL; KNUTSEN, 2002).

A literatura traz no mínimo duas respostas fisiológicas do organismo que podem explicar o fenômeno do gradiente da distribuição da altura em função da latitude: a primeira trata da produção de vitamina D pelo corpo humano que é reconhecidamente atuante na constituição do esqueleto e é dada em função da radiação solar ultravioleta (SCHELL; KNUTSEN, 2002). A segunda resposta seria a influência da duração efetiva do dia, que é determinada geometricamente pela latitude, pela variação sazonal da iluminância e até mesmo pelos hábitos e estilo de vida de determinada população, na secreção de melatonina, hormônio que inibe a maturação sexual e óssea, proporcionando aumento de estatura nas pessoas (YOKOYA et al., 2012). Essas duas hipóteses, até então abordadas separadamente, podem ser a resposta definitiva quando vistas atuando em um ciclo único.

O objetivo geral deste trabalho é verificar a relação entre altura e variáveis climáticas no Brasil

Os objetivos específicos são:

1. Construir cartogramas representativos das variáveis climáticas no Brasil;
2. Verificar a existência de relação entre altura e latitude na população brasileira;
3. Determinar, utilizando métodos estatísticos, quais elementos climáticos influenciam no crescimento das pessoas;
4. Discutir a influência da sazonalidade dos elementos climáticos nas respostas fisiológicas do organismo humano.

2 Revisão bibliográfica

Como será visto neste capítulo, diversos trabalhos ecológicos - que estudam as relações entre os seres vivos e o meio ambiente - buscam identificar quais os reflexos do clima na vida dos seres vivos. Obviamente, os seres vivos não são objetos estanques no ambiente e a interação entre eles e fatores exógenos refletem em variadas consequências em seus organismos. Na sequência, é apresentada uma breve revisão bibliográfica, onde são expostos estudos de pesquisadores que relacionaram fatores ambientais ao desenvolvimento corporal dos seres vivos.

Karl Bergmann (1814-1865), anatomista, fisiologista e biólogo alemão (OXFORD, 2019), publicou em 1847 um trabalho em que discute a relação entre economia de calor corporal e o volume dos animais e atribuiu à temperatura ambiental o motivo pelo qual animais maiores de uma determinada espécie têm como habitat ambientes mais frios. Traduzido em parte do alemão para o inglês por James (1970), Bergmann defende que: i) a superfície corporal dos animais é um local de perda de calor; ii) o volume corporal pode ser considerado como uma medida de produção de calor; iii) conclui-se que a razão entre a superfície corporal e volume corporal diminui em corpos maiores, sendo assim, os seres maiores perdem menos calor do que os menores. Dessa maneira, haveria uma espécie de adaptação, uma resposta biológica aos climas mais frios.

Mayr (1956) em seu trabalho sobre gradientes geográficos e adaptação climática utiliza o termo ecogeografia para designar estudos geográficos e ecológicos e credits a Bergmann a regra: “Raças de vertebrados de sangue quente oriundos de climas mais frios tendem a ser maiores do que as raças da mesma espécie em climas mais quentes”².

A relação entre distribuição geográfica dos seres humanos e tamanho corporal foi discutida por Newman (1953) em um trabalho de antropologia. Nele, o autor enfatiza que há maior facilidade em realizar estudos sobre o tamanho corporal em humanos porque existe disponibilidade de várias séries de mensurações realizadas em diversas regiões do mundo e com grande variação climática entre essas regiões. O autor também discute sobre indícios da existência da relação de Bergmann nas populações humanas das Américas (cf. figura 1), em localidades da Europa e Ásia, além de ponderar a possível inexistência do fenômeno na África Subsaariana. Outro fator importante destacado por Newman (1953) é

² [Races of warm blooded vertebrates from cooler climates tend to be larger than races of the same species from warmer climates]

a ocorrência de movimentação dos povos indígenas pelas Américas, fazendo com que a hereditariedade não seja considerada como o principal fator do gradiente da distribuição da altura corporal, e sim questões climáticas. Segundo Schell e Knutsen (2002, p. 168), as possíveis explicações para a exceção que ocorre na África Equatorial, como percebida na população de Pigmeus, podem ser devidas ao “uso de uma medida geral do clima (temperatura média anual), que não é o fator que tem o maior impacto na altura, a migrações populacionais recentes ou a mudanças recentes na nutrição”. A figura 1 mostra uma mudança gradual na característica do corpo humano de acordo com a localização geográfica.

Eveleth e Tanner (1990, p.203) discutem em seu livro a variação do crescimento humano em todo o mundo e consideram, entre outros, os seguintes fatores ambientais como influenciadores do crescimento: condições gerais de saúde e doença, desnutrição, nível econômico, urbanização, altitude e variação climática. Nesse último caso, os autores expõem que, as crianças crescem mais rapidamente na primavera e mais lentamente no outono em zonas de clima temperado; já nas zonas tropicais, a variação na velocidade do crescimento das crianças é dada em função de períodos chuvosos, períodos de estiagem e na variação da disponibilidade de alimentos.

Yokoya et al. (2012) estudaram a distribuição geográfica da estatura de adolescentes japoneses e observaram diferenças na altura entre adolescentes do norte e do sul do país. Os adolescentes do norte são geralmente mais altos do que os do sul, a diferença entre os valores extremos para meninos de 14 anos é de aproximadamente 2,4cm a 3,2cm e para meninas, também de 14 anos, de 2,1cm a 3,2cm. O gradiente da distribuição pode ser percebido na figura 2, onde as alturas maiores ocorrem mais ao norte do arquipélago, ou seja, quanto mais distante do Equador, maiores as alturas.

Ainda da pesquisa de Yokoya et al. (2012), é importante destacar que a ocorrência de variação geográfica na distribuição da altura é observada há quase um século e, além disso, o Japão atual apresenta baixos níveis de pobreza extrema e de desigualdade social, o que proporciona homogeneidade na ingestão nutricional da população e em índices de saúde, e mesmo após períodos de intensa migração e urbanização, o gradiente geográfico permanece, sugerindo que o fenômeno não pode ser atribuído apenas a causas genéticas mas também a elementos climáticos determinados pelo fator latitudinal. As análises de Yokoya et al. (2012) indicaram que o peso corporal juntamente a duração efetiva dos dias são preditores significantes da altura no início da adolescência, porém, apenas a duração

Figura 1 – Variação clinal em indígenas e esquimós nas Américas.

Nota: As áreas em branco não possuem dados ou representam dados imprecisos.
Extraído de: Newman (1953).

efetiva dos dias é estatisticamente significativa no final da adolescência; os autores ainda conjecturam que a duração efetiva dos dias pode afetar a secreção de melatonina, hormônio que inibe a maturação sexual e do esqueleto, proporcionando a variação geográfica da estatura de acordo com a mudança latitudinal da iluminância.

Em outro estudo, Yokoya e Higuchi (2016) recorreram ao pressuposto de que crianças tratadas com hormônio de crescimento (r-hGH) apresentam velocidade de crescimento influenciada por fatores sazonais e latitudinais: a maior velocidade no aumento da altura ocorre no verão e a taxa de velocidade de crescimento ainda é acrescida proporcionalmente

Figura 2 – Mapa da distribuição geográfica dos adolescentes de 14 anos de idade pela estatura. Padronização de um período 13 anos (1996 a 2008) em 47 regiões japonesas.

Extraído de: Yokoya et al. (2012).

à distância ao Equador. O objetivo dos autores foi identificar a associação entre a altura de crianças e adolescentes em diferentes localizações geográficas do Japão e a sazonalidade do ambiente fotoperiódico, além de discutirem quais mecanismos fisiológicos podem agir para que o fenômeno ocorra.

Yokoya e Higuchi (2016) ainda apontam uma aparente contradição que ocorre entre o crescimento humano e a intensidade de variáveis climáticas: a velocidade de crescimento é maior nos meses de verão, quando o fotoperíodo é maior, entretanto, as maiores médias de altura da população são observadas nas regiões mais distantes do Equador, onde ocorrem os dias com os menores fotoperíodos do ano. No inverno, a altura de crianças e adolescentes no Japão é fortemente correlacionada de maneira inversa com a duração efetiva do dia. Uma possível resposta para a contradição, ainda segundo os autores, seria a possibilidade de preservação de uma “memória fotoperiódica” nos seres humanos.

Grasgruber et al. (2016) publicaram um estudo em que correlacionam 28 proteínas (animais e vegetais) e sete indicadores socioeconômicos com a altura masculina em 105 países. Os autores concluem que a diferença na altura entre países asiáticos desenvolvidos e países europeus pode ser dada devido ao menor consumo de algumas proteínas que foram mais bem correlacionadas com a altura (leite, batatas, ovos e carne suína e carne bovina) ($r=0,85$) e o Índice de Desenvolvimento Humano ($r=0,84$). A figura 3 mostra a média da altura masculina em diversos países de mundo e sugere a existência de um padrão comum de crescimento: quanto mais distante do Equador, maior é a média da altura dos homens.

Figura 3 – Distribuição da altura masculina em diversos países do mundo.

Extraído de: Grasgruber et al. (2016).

3 Métodos

Para avançar no entendimento de como a variação latitudinal e a consequente variação climática podem interagir com o crescimento humano no Brasil, este trabalho é fundamentado em dados antropométricos de altura e peso (IBGE, 2004 e 2010), dados geográficos (IBGE, 2016 e GOOGLE, 2018) e dados climáticos (INMET, 2009 e TIBA et al., 2000).

Após tabulação, conversão para o formato *comma-separated values* (CSV) e manipulações algébricas, quando necessárias, os dados foram plotados no software QGIS versão 2.18.12 (QGIS, 2018), que é um Sistema de Informação Geográfica (SIG). Utilizando-se dessa ferramenta, foram geradas representações geográficas com a finalidade de auxiliar na realização da análise exploratória dos dados.

O mapa mostrado na figura 4 foi plotado a partir da união de um arquivo vetorial em formato *shapefile*, que possui os dados geoespaciais (IBGE, 2016), à variável indicadora (ID) em formato CSV, que é uma camada de texto delimitada. Na composição final do mapa ainda foram adicionadas grades para localização geográfica e escala referencial.

Também foram plotados cartogramas que mostram a intensidade das variáveis antropométricas de altura e peso, como visto na figura 13, e das variáveis climáticas: temperatura, insolação, radiação solar global e duração efetiva do dia. Para isso, foi realizada a união do arquivo vetorial *shapefile* disponibilizado pelo Laboratório de Pesquisas em Geografia Física - LAPEGE - da Universidade Estadual de Londrina (LAPEGE, 2019) com a camada de texto delimitada em formato CSV, previamente preparada pelo autor, que contém as variáveis estudadas. Os cartogramas das variáveis antropométricas são mostrados em estilo graduado com intervalos iguais divididos em cinco classes. Os demais cartogramas, das variáveis climáticas (cf. figuras 6, 7, 9 e 10) foram gerados pelo método da interpolação linear. Após o processo de interpolação, os cartogramas gerados em escala de cinza são recortados e coloridos com banda simples falsa-cor. Após todo o tratamento descrito, é feita a composição dos cartogramas, legendas são adicionadas e é feita a exportação das imagens finais.

A atuação de fatores ambientais e sazonais sobre o crescimento é reconhecido na literatura, como visto no capítulo de Revisão Bibliográfica e será retomado no capítulo de Discussão e Considerações Finais. A sazonalidade é trazida neste trabalho a partir da

utilização de dados climáticos de dois períodos extremos do ano: mês de junho, época em que ocorre o solstício de inverno no hemisfério sul e quando ocorre o menor dia do ano e o mês de dezembro, solstício de verão, quando ocorre o maior dia do ano.

Posteriormente, as variáveis que melhor estimam o crescimento dos jovens no Brasil são determinadas pelo método da regressão linear múltipla e são vistas no capítulo de Resultados nos Modelos I, II, III e IV. Nessa etapa, o software de análise estatística R versão 1.0.153 (R Core Team, 2018) foi utilizado para criação de gráficos e realização de cálculos e testes estatísticos. Este capítulo de Métodos segue descrevendo de forma detalhada como foi dado o andamento da pesquisa.

3.1 Área de estudo

Para a seleção da área de estudo foram consideradas duas alternativas: a primeira foi pela análise dos dados de uma faixa longitudinal mais estreita do território, estando menos sujeita a intensificação ou suavização do fenômeno causada pela ampla extensão brasileira no sentido leste-oeste, partindo do pressuposto de que no Brasil também ocorre a variação latitudinal da altura da população, como em outras regiões do mundo (cf. capítulo de Revisão bibliográfica); entretanto, dessa forma trabalharia-se com uma amostra relativamente pequena de estados, o que dificultaria a análise estatística. A segunda alternativa e a escolhida neste trabalho, foi pela utilização de dados dos 26 estados brasileiros; assim, a totalidade dos dados do país são usados, assumindo-se que existe a possibilidade de ocorrer suavização ou intensificação do gradiente causadas pela amplitude longitudinal dos dados .

Os estados foram numerados de acordo com a latitude de suas capitais: IDs menores indicam maior proximidade à linha do Equador e latitudes maiores; seguindo em direção ao polo sul, as latitudes diminuem, tornando-se mais negativas e os IDS são maiores (cf. quadro 1 e figura 4). A ordenação foi realizada para possibilitar a localização geográfica dos dados antropométricos e climáticos, além de auxiliar na organização das tabelas de dados e na utilização de softwares geográficos e estatísticos.

Os dados cartográficos foram obtidos da Base Cartográfica Vetorial Contínua do Brasil ao Milionésimo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2016), os dados de geolocalização foram obtidos do software Google Earth Pro versão 7.3.0.3832

(GOOGLE, 2018) e a manipulação dos dados cartográficos e de geolocalização foi realizada no software QGIS.

Quadro 1 – Latitude e longitude dos estados brasileiros

ID ¹	Estado	Sigla	Capital	Latitude ²	Longitude ²
1	Roraima	RR	Boa Vista	2,82351	-60,675833
2	Amapá	AP	Macapá	0,035573	-51,070535
3	Pará	PA	Belém	-1,455779	-48,490197
4	Maranhão	MA	São Luís	-2,449396	-44,274183
5	Amazonas	AM	Manaus	-3,119028	-60,021731
6	Ceará	CE	Fortaleza	-3,731903	-38,526739
7	Piauí	PI	Teresina	-5,092011	-42,80376
8	Rio Grande do Norte	RN	Natal	-5,779257	-35,200916
9	Paraíba	PB	João Pessoa	-7,119496	-34,845012
10	Pernambuco	PE	Recife	-8,047562	-34,876964
11	Rondônia	RO	Porto Velho	-8,761161	-63,090043
12	Alagoas	AL	Maceió	-9,649849	-35,708949
13	Acre	AC	Rio Branco	-9,975384	-67,824918
14	Tocantins	TO	Palmas	-10,249091	-48,324286
15	Sergipe	SE	Aracaju	-10,947247	-37,073082
16	Bahia	BA	Salvador	-12,972218	-38,501414
17	Mato Grosso	MT	Cuiabá	-15,601411	-56,097892
18	Goiás	GO	Goiânia	-16,686882	-49,264789
19	Minas Gerais	MG	Belo Horizonte	-19,924502	-43,935238
20	Espírito Santo	ES	Vitória	-20,297618	-40,295777
21	Mato Grosso do Sul	MS	Campo Grande	-20,469711	-54,620121
22	Rio de Janeiro	RJ	Rio de Janeiro	-22,906847	-43,172897
23	São Paulo	SP	São Paulo	-23,548263	-46,69647
24	Paraná	PR	Curitiba	-25,424429	-49,265382
25	Santa Catarina	SC	Florianópolis	-27,59487	-48,548219
26	Rio Grande do Sul	RS	Porto Alegre	-30,034647	-51,217658

Fonte: Informações de latitude e longitude extraídas do software Google Earth Pro (GOOGLE, 2018).

¹ID - Variável indicadora: Ordenação dos estados de acordo com a latitude.

²Latitude e longitude em graus decimais, sendo a linha do Equador grau zero de latitude.

3.2 Dados antropométricos

Os dados antropométricos de altura e peso corporal da população brasileira foram extraídos da Pesquisa de Orçamentos Familiares (POF) 2002-2003 e da POF 2008-2009 (IBGE, 2004 e 2010). Em cada POF são divulgadas as medianas de altura e peso de uma amostra da população e a unificação dos resultados das duas pesquisas é trazida neste trabalho através do cálculo de uma média aritmética dessas medianas.

Figura 4 – Ordenação dos estados brasileiros de acordo com a latitude das capitais.

Fonte: Informações extraídas da Base cartográfica vetorial contínua do Brasil ao milionésimo - BCIM (IBGE, 2016), do software Google Earth PRO (GOOGLE, 2018). Tabulação de dados, ordenação e plotagem do mapa pelo autor no software (QGIS, 2018).

A variável altura, dada em centímetros, é o objeto central deste trabalho, sendo necessária para a observação e estimação de sua distribuição pelo território brasileiro. As idades selecionadas para análise foram de 12 anos para meninas e 14 anos para meninos, pois, segundo Lourenço e Queiroz (2010), são as idades aproximadas em que ocorrem o pico da velocidade de crescimento para os respectivos sexos. Como o objetivo é verificar a relação entre crescimento e o meio ambiente, o período da vida em que ocorre aumento na taxa de velocidade de crescimento aparenta ser um momento mais propício para análise, pois a atuação de fatores ambientais podem ser mais aparentes do que em momentos da vida em que a velocidade de crescimento é menor.

A figura 5, extraída de Lourenço e Queiroz (2010), auxilia na compreensão do comportamento da velocidade de crescimento que ocorre desde o nascimento ao final da adolescência. A velocidade de crescimento máxima ocorre a partir do nascimento e desacelera até estabilizar-se no final da infância e volta a acelerar no início da puberdade. O pico da velocidade de crescimento, nessa época da vida, ocorre aos 12 anos para meninas e 14 anos para meninos, aproximadamente.

Figura 5 – Velocidade de crescimento.

Extraído de: Lourenço e Queiroz (2010).

Sabe-se que determinada composição alimentar é diretamente ligada ao crescimento humano e em suas variações regionais (EVELETH; TANNER, 1990, p.195; GRASGRUBER et al., 2016 e NORGAN, 2002, p.139). Norgan (2002, p.139) ainda explica que a quantificação da ingestão calórica de uma pessoa é bastante difícil, pois, quanto mais intensificam-se os esforços de medição, mais o objeto medido é alterado. Yokoya et al. (2012) propôs uma solução para esse problema adicionando em seu modelo o peso corporal para atuar como um índice de ingestão alimentar, pressupondo que o equilíbrio do peso é diretamente proporcional ao nível de ingestão alimentar. Pelos motivos expostos neste parágrafo, a variável peso, dada em quilograma, é trazida nesta dissertação como um índice de ingestão alimentar, assim como proposto por Yokoya et al. (2012). O quadro 2 mostra com maior detalhamento as variáveis antropométricas aqui citadas.

Quadro 2 – Altura e peso de meninas de 12 anos e meninos de 14 anos, nos estados brasileiros.

ID	Sigla do estado	NF ¹	Altura feminina (cm)	Peso feminino (kg)	NM ²	Altura masculina (cm)	Peso masculino (kg)
1	RR	50	150,40	40,75	63	161,70	50,55
2	AP	50	145,40	39,70	58	159,80	50,30
3	PA	187	148,85	40,20	198	157,40	46,40
4	MA	217	145,60	39,50	240	158,10	47,05
5	AM	106	146,40	38,25	114	157,95	49,20
6	CE	155	150,15	42,25	184	158,85	47,00
7	PI	178	149,95	40,70	173	158,70	45,85
8	RN	108	150,55	40,35	136	160,65	49,35
9	PB	141	151,15	42,40	158	159,05	47,95
10	PE	135	150,35	43,05	188	163,10	49,40
11	RO	71	150,20	42,50	79	160,95	49,85
12	AL	191	148,75	40,35	207	159,55	48,20
13	AC	78	146,75	38,20	95	160,90	48,40
14	TO	86	151,10	42,05	107	161,90	50,15
15	SE	106	151,75	39,80	109	163,50	51,15
16	BA	247	152,00	40,60	247	161,95	47,30
17	MT	145	154,25	43,95	165	161,55	51,00
18	GO	237	152,85	45,30	160	162,20	53,90
19	MG	231	152,75	41,90	266	163,95	52,00
20	ES	159	153,60	44,60	190	164,30	51,90
21	MS	151	153,55	45,20	175	164,35	54,90
22	RJ	104	154,55	44,65	82	165,25	54,45
23	SP	162	152,45	44,55	161	165,85	53,00
24	PR	154	153,25	43,95	145	166,20	55,20
25	SC	124	153,80	43,50	129	166,35	52,85
26	RS	99	154,95	44,35	124	167,00	55,20

Fonte: Dados fornecidos pelo IBGE (2004 e 2010). Seleção e consolidação dos dados pelo autor.

¹NF - Tamanho da amostra de crianças do sexo feminino aos 12 anos de idade.

²NM - Tamanho da amostra de crianças do sexo masculino aos 14 anos de idade.

A utilização de duas pesquisas antropométricas neste trabalho teve como intuito suavizar possíveis flutuações no período. Bonita et al. (2010) ressaltam que “os estudos de séries temporais podem reduzir o efeito de confusão causado pelo nível socioeconômico”. A opção por trabalhar com os dados de adolescentes deu-se pela possibilidade de correlacionar os dados climáticos com um período de rápido crescimento na vida das pessoas e com isso analisar as possíveis influências ambientais nessa fase da vida.

Ponderou-se para este trabalho o uso de outras pesquisas nacionais que também contém dados anatômicos; entretanto, a antiguidade e a abrangência territorial restrita dessas pesquisas acabaram por trazer as POFs como as mais apropriadas no momento.

3.3 Dados climáticos

Dados de observações climáticas de todo o território brasileiro são utilizados neste trabalho. Esses dados são provenientes de diversas estações meteorológicas, de diferentes períodos e obtidos de variadas publicações (INMET, 2009 e TIBA et al., 2000). O objetivo dessa busca foi viabilizar as análises estatísticas e verificar a possível influência de fatores climáticos na diferença de estatura das pessoas de acordo com a localização geográfica. A relação entre crescimento e o meio ambiente é frequentemente abordada na literatura especializada (conforme explicitado no capítulo de Revisão bibliográfica) e uma das hipóteses que pode explicar o fenômeno é a interação entre temperatura, iluminância - que é basicamente a quantidade de luz em determinada localidade - e complexos mecanismos fisiológicos do corpo humano (YOKOYA et al., 2012; SCHELL; KNUTSEN, 2002). Como citado anteriormente, os dados climáticos selecionados são os de ocorrência nos meses de junho e dezembro, isso porque nesses meses ocorrem os solstícios de inverno e verão, ou seja, o dia mais curto do ano e o dia mais longo do ano no hemisfério sul do planeta. Na sequência, são descritas as variáveis climáticas trabalhadas: temperatura, insolação, radiação solar global e duração efetiva do dia.

3.3.1 Temperatura

Calculou-se a média da temperatura de junho e de dezembro por estado, a partir da temperatura média de 298 estações meteorológicas em todo o território brasileiro. Os dados foram obtidos das Normais Climatológicas 1961 – 1990 publicadas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2009)³ em uma edição revista e ampliada. Ainda segundo o INMET, as Normais Climatológicas surgiram porque:

em 1872, o Comitê Meteorológico Internacional decidiu compilar valores médios climatológicos sobre um período uniforme, a fim de assegurar a compatibilidade entre os dados coletados em várias estações, resultando daí a recomendação para o cálculo das normais de 30 anos.

O conjunto de variáveis de temperatura é baseado em observações realizadas diariamente, geralmente às 12, 18 e 24 UTC (9h, 15h e 21h no horário de Brasília, respectivamente) em graus Celsius. A variável temperatura, para determinada data, é

³ Em março de 2018 o INMET publicou os resultados das Normais Climatológicas do Brasil 1981-2010, atualizando o conjunto de parâmetros meteorológicos. Para esta dissertação foram mantidos os dados da normal climatológica anterior, pois, no momento da nova publicação, os dados climáticos já haviam sido coletados e tratados.

baseada no cálculo da temperatura média compensada pelo INMET, que é definida pela fórmula 1:

$$T_{mc,kij} = \frac{T_{max,kij} + T_{min,kij} + T_{12,kij} + 2T_{24,kij}}{5} \quad (1)$$

Onde, T_{mc} é a temperatura média compensada, T_{max} é a temperatura máxima observada, T_{min} é a temperatura mínima observada e k , i e j são o dia, mês e ano, respectivamente. O quadro 3 apresenta a média da temperatura anual registrada em 298 estações meteorológicas das Normais Climatológicas 1961-1990 do Brasil. Um cartograma de distribuição da temperatura está apresentado na figura 6, nele é perceptível a maior estabilidade na temperatura nas regiões setentrionais e a amplitude térmica das regiões meridionais .

Figura 6 – Média da temperatura anual das Normais Climatológicas 1961-1990 do Brasil. Junho representa o início do inverno e dezembro representa o início do verão.

Fonte: Informações extraídas do INMET (2009) e plotadas pelo autor no software (QGIS, 2018).

3.3.2 Insolação

A insolação é a soma total das horas de sol por estado em determinado período do ano, o valor utilizado neste trabalho é a média dos dados obtidos de 266 estações

Quadro 3 – Temperatura média anual e número de estações meteorológicas nos 26 estados brasileiros.

ID	Sigla	Número de estações meteorológicas	Média anual de temperatura (°C)
1	RR	1	27,40
2	AP	3	25,90
3	PA	18	26,10
4	MA	7	26,10
5	AM	17	25,90
6	CE	10	25,50
7	PI	4	26,80
8	RN	6	26,30
9	PB	4	24,70
10	PE	10	23,90
11	RO	1	25,60
12	AL	2	25,00
13	AC	3	24,90
14	TO	5	25,40
15	SE	3	25,10
16	BA	19	23,80
17	MT	5	24,50
18	GO	9	22,90
19	MG	48	21,10
20	ES	3	23,80
21	MS	6	22,60
22	RJ	27	21,90
23	SP	27	20,60
24	PR	17	18,90
25	SC	14	18,10
26	RS	29	18,10

Fonte: Dados publicados pelo INMET (2009). Seleção e consolidação dos dados pelo autor.

meteorológicas em todo o território brasileiro, obtidos das Normais Climatológicas 1961 – 1990 publicadas pelo INMET. Segundo Varejão-Silva (2006, p. 18),

a insolação é, pois, o intervalo total de tempo (entre o nascimento e o ocaso) em que o disco solar não esteve oculto por nuvens ou fenômenos atmosféricos de qualquer natureza. A insolação é sempre menor ou (no máximo) igual ao fotoperíodo, sendo este designado como insolação máxima teoricamente possível.

O quadro 4 apresenta a insolação total anual média por estado registrada em 266 estações meteorológicas das Normais Climatológicas 1961-1990 do Brasil. A distribuição da insolação nos meses de junho e dezembro está representada na figura 7, nela, percebe-se

que a insolação não segue a mesma distribuição da temperatura, pois, está sujeita a outros elementos climáticos, como a nebulosidade.

Quadro 4 – Insolação total anual média e número de estações meteorológicas nos 26 estados brasileiros.

ID	Sigla	Número de estações meteorológicas	Horas anuais de insolação (h)
1	RR	2	1955,10
2	AP	3	2054,90
3	PA	18	2074,00
4	MA	13	2323,40
5	AM	15	1729,90
6	CE	12	2713,10
7	PI	6	2803,90
8	RN	7	2833,90
9	PB	4	2751,60
10	PE	8	2672,10
11	RO	1	1988,40
12	AL	1	2627,20
13	AC	3	1482,90
14	TO	5	2381,80
15	SE	3	2378,80
16	BA	12	2426,80
17	MT	4	2155,20
18	GO	11	2366,60
19	MG	50	2334,40
20	ES	6	2163,70
21	MS	8	2510,70
22	RJ	17	2023,40
23	SP	22	2279,40
24	PR	13	2116,60
25	SC	8	2001,10
26	RS	14	2284,40

Fonte: Dados publicados pelo INMET (2009). Seleção e consolidação dos dados pelo autor.

Figura 7 – Distribuição da insolação total anual média no Brasil. Junho representa o início do inverno e dezembro representa o início do verão.

Fonte: Informações extraídas do INMET (2009) e plotadas pelo autor no software (QGIS, 2018).

3.3.3 Radiação solar global

Os dados de radiação solar global foram extraídos do banco de dados do Atlas Solarimétrico do Brasil: banco de dados terrestres (TIBA et al., 2000), que compreende diversas estações meteorológicas em todo o território brasileiro. Os dados utilizados são aqueles obtidos através da leitura de equipamentos localizados no solo. A coleta desses dados foi feita em 25 capitais brasileiras, sendo que apenas em Tocantins não há dados de sua capital (cf. quadro 5). O período de observação é amplo e não constante, de 1931 a 1960 e de 1964 a 1974.

A figura 8 mostra como é distribuída a radiação solar pelo território brasileiro segundo Tiba et al. (2000), que resumiu em seu banco de dados diversos estudos meteorológicos do Brasil e de outros países da América do Sul. Nota-se na figura que a radiação solar global não aparenta obedecer critérios latitudinais ou longitudinais em sua distribuição, porém o fator sazonal é bastante marcante.

Figura 8 – Radiação solar global diária no Brasil. Junho representa o início do inverno e dezembro representa o início do verão.

Fonte: Informações extraídas de Tiba et al. (2000) e plotadas pelo autor no software (QGIS, 2018).

Segundo Varejão-Silva (2006), a radiação solar global é a energia eletromagnética que atinge a superfície da Terra de maneira direta ou indireta e 4% dela está na faixa espectral do ultravioleta, 52% está na faixa espectral do infravermelho e 44% na faixa espectral da luz visível. Ou seja, aproximadamente 50% da radiação solar global é luz visível, além disso, como será explicado na seção de Respostas Fisiológicas (Capítulo 5, p.60), a exposição a radiação solar ultravioleta estimula a síntese de vitamina D, que é importante para a formação do esqueleto, daí a importância da utilização da variável climática radiação solar global nesta dissertação.

Varejão-Silva (2006) ainda explica que “apenas as radiações de comprimento de onda compreendidos entre $0,367\mu m$ e $0,77\mu m$ podem ser detectadas pelo olho humano, constituindo a faixa visível do espectro eletromagnético, ou luz visível”. A figura 9 auxilia no detalhamento do domínio da radiação solar.

Figura 9 – Domínio da radiação solar em micro-ondas (μ).

Extraído de: Varejão-Silva (2006, p.166).

Quadro 5 – Radiação solar global média nos 26 estados brasileiros

ID	Sigla	Média anual da radiação solar global diária ($MJ/m^2/dia$)
1	RR	19,40
2	AP	12,20
3	PA	14,60
4	MA	16,80
5	AM	18,00
6	CE	18,30
7	PI	18,30
8	RN	22,10
9	PB	19,40
10	PE	17,60
11	RO	17,60
12	AL	17,60
13	AC	20,90
14	TO	15,60
15	SE	17,20
16	BA	17,90
17	MT	16,80
18	GO	16,00
19	MG	15,40
20	ES	12,60
21	MS	18,20
22	RJ	18,00
23	SP	16,10
24	PR	10,80
25	SC	19,40
26	RS	15,20

Fonte: Dados publicados de Tiba et al. (2000). Seleção e consolidação dos dados pelo autor.

3.3.4 Duração efetiva do dia

O fotoperíodo é o intervalo de tempo entre o nascimento e o ocaso do sol, porém, não é o período total de iluminação, pois exclui os crepúsculos da manhã e da noite (VAREJÃO-SILVA, 2006). O conceito de duração efetiva do dia empregado neste trabalho foi proposto por Yokoya e Shimizu (2011): a duração do fotoperíodo que excede um certo limite de intensidade luminosa. Os seres vivos possuem diferentes níveis de sensibilidade a luz e a utilização da duração efetiva do dia mostrou-se um modelo mais eficaz para cálculos em condições de baixa intensidade de iluminância, ainda segundo os autores. A intensidade luminosa, ou iluminância, é dada em lux(lx), cuja magnitude é logarítmica, ou seja, 100lx é 10 vezes maior do que 10lx (cf. figura 11).

O modelo de Yokoya e Shimizu (2011) utiliza a radiação solar global para estimar a duração efetiva do dia que excede determinada intensidade luminosa que lhe é atribuída, para isso, as fórmulas abaixo são aplicadas:

$$\delta = 0,4093 \cdot \cos(0,01689(DJ - 173)) \quad (2)$$

$$N_0 = \frac{24 \cos^{-1}(-\tan \varphi \tan \delta)}{\pi} \quad (3)$$

Onde, δ é a declinação solar em radianos; N_0 é a média mensal da possibilidade máxima diária da duração do fotoperíodo em h/dia; φ é a latitude local em radianos. O Dia Juliano (DJ) é o dia de determinado mês e ano que foi escolhido para o cálculo da declinação solar; ele é um método de contagem sequencial dos dias que é iniciado em 1º de janeiro do ano de 4713ac. Essa sequência de números inteiros positivos tem aplicação em cálculos astronômicos e possui a seguinte característica: o início de cada DJ ocorre às 12h de determinada data, e o seu término às 12h do dia seguinte, fazendo com que os períodos noturnos façam parte do mesmo dia. Atribuem-se casas decimais a um DJ apenas para definir o período do dia, por exemplo, o dia 17.04.2019 às 24h é o DJ número 2.458.591,5. A expressão 4, proposta pelo U. S. Naval Observatory (1992), é aqui utilizada para a conversão de datas do calendário corrente, o gregoriano, para o DJ :

$$DJ = \frac{1461 \left(A + 4800 + \frac{M-14}{12} \right)}{4} + \frac{367 \left(M - 2 - 12 \frac{M-14}{12} \right)}{12} - \frac{3 \left(\frac{A+4900 + \frac{M-14}{12}}{100} \right)}{4} + D - 32075 \quad (4)$$

Onde, A é substituído pelo ano, M pelo mês e D pelo dia que será convertida. Prosseguindo com o cálculo da duração efetiva do dia, para intensidade luminosa maior que 10.000lx, temos:

$$N(lux) = a \ln(Rs) + b \quad (5)$$

Para o cálculo do N(lux), temos:

$$a = -1,07 \cdot 10^{-9} \cdot lux^2 + 8,35 \cdot 10^{-5} \cdot lux + 2,91 \quad (6)$$

$$b = 9,21 \cdot 10^{-9} \cdot lux^2 - 5,61 \cdot 10^{-4} \cdot lux + 4,19 \quad (7)$$

E para intensidade luminosa menor do que 10.000lx:

$$Ne(lux) = (N_0 - Ne(10.000)) \cdot \left(\frac{10.000 - lux}{1.000} \right) + Ne(10.000) \quad (8)$$

Onde, Ne é a média mensal da duração efetiva do dia em h/dia ; lux é a intensidade de luz arbitrária cujo fotoperíodo deve ser determinado; Rs é a média mensal da radiação solar global em $MJ/m^2/dia$; $Ne(10.000)$ é a média mensal da duração efetiva do dia a uma intensidade luminosa de 10.000lx em h/dia. Todas as fórmulas aqui expostas, com exceção da conversão em Dia Juliano, fazem parte do modelo proposto por Yokoya e Shimizu (2011).

Para a realização deste trabalho, são utilizados os dias dos solstícios de junho e de dezembro do ano de 2004, um ano intermediário entre a coleta de dados das duas POFs. No solstício de inverno e no solstício de verão ocorrem respectivamente, o fotoperíodo mínimo e o fotoperíodo máximo anual. A estação do ano dos estados brasileiros que possuem território no hemisfério norte foi considerada a mesma das outras regiões do Brasil, pois as estações não são tão bem distinguíveis na proximidade do Equador.

Yokoya et al. (2012) propuseram em seu modelo o uso de uma intensidade luminosa ambiental a partir de 4.000lx; já Yokoya e Higuchi (2016), propuseram o uso de 5.000lx. Estima-se que a intensidade luminosa em ambientes internos corresponde a aproximadamente 10% da luminosidade observada em ambientes externos e que uma iluminância entre 50 a 600lx parece ser a responsável por causar mudança de fase em ritmos circadianos nos humanos (YOKOYA et al., 2012); por essa razão torna-se coerente a utilização de valores compreendidos no intervalo de 500 a 6.000lx nos modelos de duração efetiva do dia,

já que busca-se a associação entre variável climática e crescimento e 10% desse intervalo corresponde justamente aos valores que parecem mudar a fase do ritmo circadiano em humanos.

A distribuição da duração efetiva do dia pelo território brasileiro em 4.000lx é mostrado na figura 10. Nela, percebe-se que a variabilidade sazonal da duração efetiva do dia é mais evidente na região centro-sul, enquanto em regiões equatoriais, a variação anual é menor. Na região sul, são observados os valores brasileiros mínimos e máximos anuais.

Figura 10 – Duração efetiva do dia em 4.000lx no solstício de inverno e verão. Junho representa o início do inverno e dezembro representa o início do verão.

Fonte: Informações de radiação solar global extraídas de Tiba et al. (2000). Manipulação algébrica e impressão do cartograma no software (QGIS, 2018) pelo autor.

Refinetti (2006, p.637) esclarece que a iluminância é a densidade do fluxo de energia sob a forma de onda eletromagnética que é percebida pelo olho humano em determinada unidade de tempo e que incide em alguma superfície. Sua unidade de medida no Sistema Internacional de Unidades é o lux(lx). A figura 11 é uma ilustração que exemplifica a quantidade de luz percebida em um ambiente.

Figura 11 – Representação da intensidade de luz visível para várias intensidades luminosas.

Extraído de: Refinetti (2006, p.53).

3.4 *Análise estatística*

A análise exploratória dos dados foi iniciada com a construção de cartogramas para representar graficamente a intensidade e a distribuição das variáveis pelo território, de maneira semelhante ao realizado por diversos outros pesquisadores (NEWMAN, 1953; YOKOYA et al. 2012; GRASGRUBER, 2016). Os dados de altura e peso foram padronizados para mostrar o quanto as variáveis antropométricas por estado estão distantes do valor

médio do Brasil, ou seja, auxilia na visualização da dispersão das alturas em função das latitudes (cf. tabela 1).

A padronização dos dados foi conduzida utilizando a fórmula abaixo:

$$z = \frac{x - \bar{x}}{s} \quad (9)$$

Onde, Z é a variável expressa em desvios padrão após padronização, x é a variável em cada estado, $\bar{x}$ é média do valor nacional da respectiva variável e s é o desvio padrão dos dados nacionais ainda da mesma variável.

Na sequência da análise estatística, buscou-se um modelo de regressão linear múltipla em que a variável resposta altura é dada pela combinação das possíveis variáveis explicativas: peso, temperatura, insolação, radiação solar global e duração efetiva do dia em 4.000lx. Almeida (2016) explica que a latitude é um fator geográfico que condiciona diversos elementos climáticos, como por exemplo, a temperatura; e por esse motivo, a latitude não será considerada uma variável explicativa para o modelo, já que os demais elementos climáticos são constituídos em função dela.

Para que um modelo de regressão linear múltipla seja válido, é necessário que algumas condições sejam verificadas, conforme descrito por Baldi e Moore (2014):

1. Tendência linear - Inicialmente, a relação entre as variáveis deve ser linear e isso pode ser verificado pela análise de gráficos de dispersão;
2. Normalidade - Os resíduos da variável resposta necessitam apresentar distribuição normal. Isso pode ser verificado pelo teste estatístico de Shapiro-Wilk e por gráficos de Quantis Normais. Nos gráficos, é preciso que a distribuição dos pontos ocorra de forma simétrica em torno do zero e que os pontos encontrem-se localizados próximos à reta teórica. Fávero e Belfiore (2017) esclarecem que “a normalidade dos resíduos assegura que o valor- P dos testes t e do teste F sejam válidos”;
3. Variância constante - O gráfico de resíduos versus valores ajustados não deve apresentar nenhum padrão óbvio. É preciso que os valores estejam bem distribuídos ao redor do valor zero. Nesses gráficos, os pontos extremos ficam mais isolados, isso porque ocorre aumento na dificuldade de verificar a variabilidade dos dados máximos e mínimos. Quando a condição de variância constante é satisfeita, é dado o nome de homocedasticidade, caso contrário, heterocedasticidade, que pode ser causada por

omissão de variável relevante no modelo (FÁVERO; BELFIORE, 2017). Além de gráficos, o teste de Breusch-Pagan auxilia na verificação desta condição;

4. Independência - No gráfico de resíduos ordenados é possível verificar se ocorre algum padrão nos resíduos de acordo com a ordenação dos dados, o que não é desejado. Quando não é possível identificar no gráfico qualquer padrão óbvio na distribuição dos resíduos, aceitamos que as variáveis são independentes. A omissão de variável explicativa relevante pode gerar a falta de independência entre os resíduos ordenados.

Colocados os pressupostos de verificação, o modelo genérico da regressão linear múltipla é mostrado abaixo:

$$\hat{Y} = \alpha + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \dots + \beta_n x_{ni} + \epsilon_i \quad (10)$$

No qual, $\hat{Y}$ é a estatura estimada, α é a constante, o ponto de intercepção da reta descritiva do modelo com o eixo y , quando a soma dos produtos for zero. Os demais β são os coeficientes de cada variável e parâmetros que devem ser calculados e x são as variáveis explicativas incluídas no modelo. Os subscritos i representam cada observação da amostra em análise, enquanto ϵ é o erro, definido pela diferença entre o valor observado e o estimado (FÁVERO e BELFIORE, 2017).

O método para escolha das variáveis mais relevantes é o *forward stepwise*, que é iniciado com uma variável e as demais são acrescentadas até que a inclusão de novas variáveis não seja mais relevante ao modelo. O melhor ajustamento foi obtido com a utilização do *Critério de Informação de Akaike* (AIC), cuja função é verificar a qualidade do modelo comparando com cada outro modelo parcial anterior. A escolha ocorre da seguinte maneira: enquanto existir um valor AIC de variável menor que o AIC geral, a variável que possui o menor AIC entrará no modelo final. Quando o AIC geral for superior aos AICs individuais, o modelo estará finalizado e nenhuma outra variável será incluída. Aho et al. (2014) utiliza a seguinte expressão para o cálculo do AIC:

$$AIC = -2 \ln L(\hat{\Theta}) + 2p \quad (11)$$

Onde, $\hat{\Theta}$ é o valor de máxima verossimilhança para o modelo, que tem a função de calcular se cada variável explicativa influencia a probabilidade de ocorrer alteração na variável estimada, sendo que o evento de interesse é o de ocorrer crescimento na estatura das pessoas; p é o número de parâmetros estimados no modelo. O cálculo do

AIC recompensa os melhores ajustes, entretanto, quanto maior o número de parâmetros incluídos no modelo, penalizações crescentes são aplicadas.

O coeficiente de determinação R^2 , que é calculado na análise estatística, mostra, em percentual, o quanto a variabilidade de $\hat{Y}$ é explicada pela variação das variáveis independentes. Fávero e Belfiore (2017, p.523) esclarecem que o coeficiente de determinação R^2 pode variar de 0 a 1 (0% a 100%), ou seja, na hipótese do $R^2 = 1$, não há resíduos para cada uma das observações e a variabilidade de $\hat{Y}$ é totalmente explicada pelas variáveis explicativas. O R^2 ajustado, ainda segundo Fávero e Belfiore (2017, p.540), é utilizado para “comparar o R^2 entre dois modelos com tamanhos de amostras diferentes ou com quantidades distintas de parâmetros”.

A significância estatística geral do modelo é dada pelo teste F , que, segundo Fávero e Belfiore (2017, p.525), apresenta o seguinte teste de hipótese para um modelo geral de regressão:

$$\begin{aligned} H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_n = 0 \\ H_1 : \text{existe pelo menos um } \beta \neq 0 \end{aligned} \tag{12}$$

Este teste de hipótese mostra se o modelo realmente existe, pois, se a hipótese nula (H_0) for aceita, todos os parâmetros são iguais a zero e conseqüentemente o comportamento das variáveis explicativas não irá alterar a variável resposta. Para que ocorra a rejeição da hipótese nula, o nível de significância de F deve ser menor do que 5% (chamado valor-P ou P-value), que representa a probabilidade de ocorrência da hipótese nula.

A estatística t é realizada para fornecer a significância de cada parâmetro do modelo, dessa forma, é verificado se, individualmente, eles são estatisticamente diferentes de zero. As hipóteses do teste t , são:

$$\begin{aligned} H_0 : \alpha = 0 \\ H_1 : \alpha \neq 0 \\ H_0 : \beta = 0 \\ H_1 : \beta \neq 0 \end{aligned} \tag{13}$$

Semelhante ao teste F , o valor do nível de significância do teste t é mostrado no quanto o valor-P é pequeno. No teste t , um valor p abaixo de 5% mostra que é possível rejeitar as hipóteses nulas com nível de confiança de 95%.

O intervalo de confiança (IC) mostra que pode-se rejeitar ao nível de confiança de 95% que o intercepto α e os parâmetros β sejam nulos. Isso é visto quando os intervalos de confiança calculados excluem o valor zero. O IC, assim como a estatística t não mostra a significância geral do modelo, essa tarefa é do teste F , e sim, a significância do intercepto e de cada parâmetro.

O teste de Shapiro-Wilk mostra se os resíduos do modelo apresentam distribuição normal. Este teste é baseado na concepção da igualdade e sua interpretação é dada pelo seguinte teste de hipótese:

$$\begin{aligned} H_0 &: \text{a amostra provém de uma população com distribuição normal} \\ H_1 &: \text{a amostra não provém de uma população com distribuição normal} \end{aligned} \quad (14)$$

Dessa forma, é visto que no teste de Shapiro-Wilk busca-se a igualdade, a semelhança entre o comportamento dos resíduos do modelo com a curva normal. Para que a normalidade seja aceita, é preciso aceitar a hipótese nula (H_0) e para isso o valor p deve ser maior do que 5%.

O teste de Breusch-Pagan pode confirmar se a variância dos resíduos do modelo é constante, que é umas das condições de validade do modelo de regressão múltipla. O teste de hipótese exemplificado na sequência, mostra que o procurado é a igualdade (erros homocedásticos) e não a diferença (erros heterocedásticos).

$$\begin{aligned} H_0 &: \text{a variância dos termos de erro é constante} \\ H_1 &: \text{a variância dos termos de erro não é constante} \end{aligned} \quad (15)$$

A aplicação do teste de Breusch-Pagan juntamente à plotagem de gráficos de resíduos versus valores ajustados, confirmam o pressuposto de variância constante. O teste é considerado válido quando o valor p é maior do que 5%. Toda a análise estatística aqui exposta é baseada nos conceitos ensinados por Baldi e Moore (2014) e Fávero e Belfiore (2017).

4 Resultados

Com o objetivo de explorar os dados e apresentar uma visão geral da distribuição da altura dos brasileiros, a figura 12 mostra o comportamento da altura dos jovens brasileiros de 12 e 19 anos de idade do sexo feminino e de 14 e 19 anos de idade do sexo masculino. Nota-se que, a distribuição da altura respeita um critério latitudinal: as menores alturas padronizadas estão localizadas nos estados mais ao norte; é visível na figura um grupo que apresenta alturas intermediárias e de transição nas latitudes médias do território e as alturas maiores estão localizadas nos estados mais ao sul do Brasil. Como aos 19 anos de idade a velocidade de crescimento já é quase nula, pode-se concluir que as diferenças regionais observadas são mantidas na fase adulta.

Os dados padronizados de altura, que originaram a figura 12, são mostrados na tabela 1. Como explicado no capítulo de metodologia, a ordenação dos estados é dada em função da latitude de suas capitais. Os menores valores padronizados mostram as menores alturas, os valores próximos a zero mostram os valores médios e os maiores valores padronizados mostram as maiores alturas. A menor altura para o sexo masculino foi observada no estado do Pará; a maior no Rio Grande do Sul, a diferença é de 9,6cm. Para o sexo feminino, a menor altura é observada no estado do Amapá e a maior altura no Rio Grande do Sul, a diferença é de 9,55cm. Dada essa perspectiva geral, na sequência do trabalho, apenas as idades de 12 anos para as meninas e 14 anos para os meninos serão analisadas, como também explicado anteriormente no capítulo de metodologia.

A figura 13 apresenta mapas que mostram a distribuição da altura e do peso dos jovens pelo território brasileiro. O mapa A mostra que as alturas maiores para o sexo feminino ocorrem em regiões mais ao sul, como já observado na figura 12; o cartograma B mostra a distribuição do peso feminino pelo território, e essa distribuição não é necessariamente igual à distribuição da altura. Para o sexo masculino, o cartograma C mostra de maneira bastante clara o gradiente da distribuição da altura da população pelo território, sendo possível notar que as alturas maiores estão localizadas nos estados mais ao sul e em menores latitudes; o cartograma D mostra o gradiente da distribuição do peso e ele não é tão evidente quanto o gradiente da distribuição da altura, ainda para o sexo masculino. Ainda na figura 13, a cor branca nos cartogramas representa os valores médios nacionais.

Figura 12 – Distribuição da altura do sexo feminino aos 12 e 19 anos (A) e do sexo masculino aos 14 e 19 anos de idade (B).

Fonte: Dados fornecidos pelo IBGE (2004 e 2010). Seleção dos dados, consolidação, padronização e plotagem pelo autor.

Em seguida, são apresentados quatro modelos de regressão linear múltipla para a estimação da altura do sexo feminino aos 12 anos e do sexo masculino aos 14 anos. As variáveis antropométricas utilizadas inicialmente são a mediana do peso feminino e a mediana do peso masculino, em seus respectivos modelos. As variáveis climáticas para

Tabela 1 – Padronização da altura do sexo masculino e feminino.

ID	Estado	Altura	Altura	Altura	Altura
		feminina 12 anos	feminina 19 anos	masculina 14 anos	masculina 19 anos
1	Roraima	-0,12	-1,20	-0,07	-1,31
2	Amapá	-1,95	-1,08	-0,70	0,00
3	Pará	-0,77	-2,16	-1,50	-0,39
4	Maranhão	-1,95	-1,30	-1,28	-1,25
5	Amazonas	-1,57	-0,56	-1,33	-1,53
6	Ceará	-0,27	-0,45	-1,03	-0,63
7	Piauí	-0,39	-1,29	-1,07	-0,92
8	Rio Grande do Norte	-0,15	-0,72	-0,42	-0,82
9	Paraíba	0,03	-0,28	-0,97	-0,57
10	Pernambuco	-0,28	0,53	0,36	0,45
11	Rondônia	-0,34	-0,15	-0,39	-0,14
12	Alagoas	-0,61	-0,30	-0,82	-0,63
13	Acre	-1,33	-0,46	-0,34	-0,72
14	Tocantins	0,09	-0,10	0,01	-0,59
15	Sergipe	0,22	-0,46	0,51	-0,61
16	Bahia	0,32	0,34	0,00	0,39
17	Mato Grosso	1,13	1,00	-0,13	0,63
18	Goiás	0,61	0,69	0,07	1,45
19	Minas Gerais	0,57	0,55	0,65	0,37
20	Espírito Santo	0,87	1,33	0,78	1,55
21	Mato Grosso do Sul	0,91	0,24	0,78	0,73
22	Rio de Janeiro	1,20	1,23	1,07	0,90
23	São Paulo	0,58	1,03	1,27	0,14
24	Paraná	0,73	1,31	1,41	0,73
25	Santa Catarina	1,10	1,08	1,48	1,50
26	Rio Grande do Sul	1,39	1,17	1,65	1,30

Fonte: Pesquisa de Orçamentos Familiares IBGE(2004,2010)

o mês de junho são: temperatura, insolação, radiação solar global e Delta-dia (duração efetiva do dia em 4.000lx). Também são criadas regressões para ambos os sexos com as mesmas variáveis climáticas, porém, observadas no mês de dezembro. Como explicado no capítulo de metodologia, o modelo mais ajustado é determinado pelo método *forward stepwise*, nele, as variáveis são acrescentadas uma a uma e a cada acréscimo, a qualidade do modelo é verificada. As tabelas e equações descritas na sequência são as saídas mais ajustadas que foram obtidas. A interpretação estatística do Modelo I é apresentada mais detalhadamente, os demais modelos possuem interpretações semelhantes e por isso a interpretação é apresentada de maneira mais resumida.

Figura 13 – Mapas da distribuição da altura e do peso do sexo feminino aos 12 anos (A e B) e do sexo masculino aos 14 anos (C e D) no Brasil.

Fonte: Dados fornecidos pelo IBGE (2004 e 2010). Seleção dos dados, consolidação e plotagem pelo autor.

4.1 Modelo I - Altura feminina aos 12 anos em junho

O objetivo do primeiro modelo é encontrar quais as variáveis que no mês de junho, início do inverno no Brasil, estimam a altura do sexo feminino aos 12 anos de idade. A variável antropométrica que inicia o modelo é a mediana do peso feminino. As variáveis climáticas iniciais são: temperatura, insolação, radiação solar global e Delta-dia. A figura 14 mostra os gráficos de dispersão, correlação e histogramas das variáveis que são inicialmente implementadas no modelo. Na margem da figura constam os valores das variáveis em suas respectivas unidades de medida, conforme descrito no capítulo de metodologia. O objetivo dessa figura é mostrar que os pontos satisfazem o pressuposto da linearidade na relação entre as variáveis e que elas se correlacionam, porém não apresentam colinearidade perfeita.

Figura 14 – Matriz de dispersão, correlação e histogramas do modelo de estimação da altura feminina aos 12 anos de idade em junho.

Fonte: Dados extraídos da Pesquisa de Orçamentos Familiares IBGE(2004, 2010), cálculos e plotagem pelo autor no software R. Altura em *cm*, Peso em *kg*, Temperatura em $^{\circ}\text{C}$, Insolação em *h*, Radiação solar global em $\text{MJ}/\text{m}^2/\text{dia}$ e Delta-dia em *h*.

A tabela 2 mostra os resultados da regressão linear múltipla e dos testes de pressupostos. Na figura 15, percebe-se que o comportamento dos resíduos aproxima-se da normalidade, a dispersão dos resíduos mostra variância constante e no gráfico de resíduos ordenados não é visível nenhum padrão de comportamento, mostrando a independência dos mesmos. Dessa forma é possível concluir que os pressupostos da regressão linear múltipla foram cumpridos.

Tabela 2 – Resultados da regressão linear múltipla e testes de pressupostos do Modelo I.

	Coefficiente	Erro Padrão	t	p	IC inferior 95%	IC superior 95%
Intercepto	132,47	12,87	10,29	4,44e-10	110,41	154,53
Peso	0,77	0,18	4,26	0,000305	0,46	1,08
Delta-dia	-1,35	0,60	-2,24	0,035232	-2,39	-0,31

R-quadrado = 0,75; R-quadrado ajustado = 0,73; Erro padrão = 0,52; $F(2;23) = 35,11$, p-valor < 0,000001; Shapiro-wilk = 0,98, p-valor > 0,05; Breusch-Pagan = 4,34, p-valor > 0,05.
Fonte: Plotagem pelo autor no software R.

Figura 15 – Normalidade dos resíduos, resíduos versus valores ajustados e resíduos ordenados - Modelo I.

Fonte: Plotagem pelo autor no software R.

A expressão que melhor descreveu a altura do sexo feminino aos 12 anos no mês de junho é dada por:

$$\hat{Y} = 132,47 + 0,77 \cdot \text{Peso} - 1,35 \cdot \text{Deltadia} \quad (16)$$

Da expressão, conclui-se que a cada quilograma adicionado ao modelo, é acrescentado 0,77cm na altura e na diminuição de 1h do dia, temos a redução de 1,35cm na estatura, aplicando o conceito *ceteris paribus* (mantidas as demais condições constantes, ou seja, acrescenta-se uma unidade por variável enquanto as demais variáveis são mantidas).

4.2 Modelo II - Altura feminina aos 12 anos em dezembro

Este modelo busca descrever a altura do sexo feminino utilizando o peso e as variáveis climáticas observadas no mês de dezembro como estimadores. Os resultados podem ser vistos na tabela 3 e nas figuras 16 e 17. Neste modelo, as variáveis peso e horas do dia acima de 4.000lx foram as que permaneceram na expressão final:

$$\hat{Y} = 92,17 + 0,75 \cdot \text{Peso} + 2,32 \cdot \text{Deltadia} \quad (17)$$

A interpretação da expressão é no sentido que a cada quilograma de peso adicionado no modelo, é acrescentado 0,75cm na altura e com o aumento de 1h na duração do dia, temos o acréscimo de 2,32cm na estatura. O R^2 do modelo é de 0,81, mostrando uma maior explicação para a estimativa da altura no mês de dezembro do que no mês de junho, como visto no Modelo 1 ($R^2=0,75$).

A figura 17, assim como os testes de Shapiro-Wilk e Breusch-Pagan, asseguram a confiabilidade do modelo, pois, mostram que existe normalidade e variância constante dos resíduos. A independência dos resíduos também é mostrada na figura 17.

Figura 16 – Matriz de dispersão, correlação e histogramas do modelo de estimação da altura feminina aos 12 anos de idade em dezembro.

Fonte: Dados extraídos da Pesquisa de Orçamentos Familiares IBGE(2004, 2010), cálculos e plotagem pelo autor no software R. Altura em *cm*, Peso em *kg*, Temperatura em *°C*, Insolação em *h*, Radiação solar global em *MJ/m²/dia* e Delta-dia em *h*.

Tabela 3 – Resultados da regressão linear múltipla e testes de pressupostos do Modelo II.

	Coefficiente	Erro Padrão	t	p	IC inferior 95%	IC superior 95%
Intercepto	92,17	6,10	15,10	1,99e-13	79,54	104,79
Peso	0,75	0,14	5,42	1,67e-05	0,47	1,04
Delta-dia	2,32	0,61	3,77	0,000988	1,05	3,59

R-quadrado = 0,81; R-quadrado ajustado = 0,80; Erro padrão = 1,23; $F(2;23) = 50,46$, $p\text{-valor} < 0,000001$; Shapiro-wilk = 0,98, $p\text{-valor} > 0,05$; Breusch-Pagan = 2,80, $p\text{-valor} > 0,05$.
 Fonte: Plotagem pelo autor no software R.

Figura 17 – Normalidade dos resíduos, resíduos versus valores ajustado e resíduos ordenados - Modelo II.

Fonte: Plotagem pelo autor no software R.

4.3 Modelo III - Altura masculina aos 14 anos em junho

Este modelo descreve a altura do sexo masculino a partir do peso e de variáveis climáticas observadas no mês de junho. A figura 18 mostra a relação entre todas as variáveis e nota-se que a maior correlação é entre altura e peso ($r=0,87$) e entre altura e temperatura ($r=-0,88$). A expressão final do modelo que melhor estima a altura é:

$$\hat{Y} = 147,52 - 0,38 \cdot Temperatura + 0,45 \cdot Peso \quad (18)$$

Nela, tem-se que, para cada grau Celsius acrescentado no ambiente, a altura é 0,38cm menor e a cada kg de peso adicionado, a altura é acrescida em 0,45cm. O R^2 exibido na tabela 4 mostra que aproximadamente 85% de $\hat{Y}$ é explicado pela temperatura e pelo peso. É importante ressaltar que este é o único modelo em que a duração efetiva do dia a determinada intensidade luminosa não faz parte da equação final.

Figura 18 – Matriz de dispersão, correlação e histogramas do modelo de estimação da altura masculina aos 14 anos de idade em junho.

Fonte: Dados extraídos da Pesquisa de Orçamentos Familiares IBGE(2004, 2010), cálculos e plotagem pelo autor no software R. Altura em *cm*, Peso em *kg*, Temperatura em $^{\circ}C$, Insolação em *h*, Radiação solar global em $MJ/m^2/dia$ e Delta-dia em *h*.

Tabela 4 – Resultados da regressão linear múltipla e testes de pressupostos do Modelo III.

	Coefficiente	Erro Padrão	t	p	IC inferior 95%	IC superior 95%
Intercepto	147,52	8,60	17,15	1,34e-14	129,73	165,31
Temperatura	-0,38	0,10	-3,89	0,000731	-0,58	-0,18
Peso	0,45	0,13	3,35	0,00277	0,17	0,73

R-quadrado = 0,85; R-quadrado ajustado = 0,84; Erro padrão = 1,15; $F(2;23) = 64,94$, p-valor < 0,000001; Shapiro-wilk = 0,97, p-valor > 0,05; Breusch-Pagan = 2,60, p-valor > 0,05.
 Fonte: Plotagem pelo autor no software R.

A figura 19 exibe os gráficos auxiliares de verificação de pressupostos. Neles, com o auxílio dos testes de Shapiro-Wilk e Breusch-Pagan, é possível aceitar os princípios da normalidade, variância constante e independência dos resíduos.

Figura 19 – Normalidade dos resíduos, resíduos versus valores ajustados e resíduos ordenados - Modelo III.

Fonte: Plotagem pelo autor no software R.

4.4 Modelo IV - Altura masculina aos 14 anos em dezembro

Neste último modelo é obtida a expressão que melhor estima a altura do sexo masculino aos 14 anos de idade utilizando o peso e variáveis climáticas observadas no mês de dezembro:

$$\hat{Y} = 102,73 + 0,63 \cdot \text{Peso} + 2,36 \cdot \text{Deltadia} \quad (19)$$

A interpretação da expressão é a seguinte: a cada quilograma de peso corporal acrescentado, a altura é aumentada em 0,63cm e a cada hora de iluminação com intensidade acima de 4.000lx, a altura é acrescida de 2,36cm. O R^2 mostra que 86% da variação de $\hat{Y}$ é dada em função das variáveis independentes aqui colocadas.

Figura 20 – Matriz de dispersão, correlação e histogramas do modelo de estimação da altura masculina aos 14 anos de idade em dezembro.

Fonte: Dados extraídos da Pesquisa de Orçamentos Familiares IBGE(2004, 2010), cálculos e plotagem pelo autor no software R. Altura em *cm*, Peso em *kg*, Temperatura em $^{\circ}C$, Insolação em *h*, Radiação solar global em $MJ/m^2/dia$ e Delta-dia em *h*.

Tabela 5 – Resultados da regressão linear múltipla e testes de pressupostos do Modelo IV.

	Coefficiente	Erro Padrão	t	p	IC inferior 95%	IC superior 95%
Intercepto	102,73	5,42	18,97	1,53e-15	91,53	113,94
Peso	0,63	0,10	6,42	1,49e-06	0,42	0,83
Delta-dia	2,36	0,56	4,18	0,000357	1,19	3,53

R-quadrado = 0,86; R-quadrado ajustado = 0,85; Erro padrão = 1,12; $F(2;23) = 69,61$, p-valor < 0,000001; Shapiro-wilk = 0,97, p-valor > 0,05; Breusch-Pagan = 0,90, p-valor > 0,05.
 Fonte: Plotagem pelo autor no software R.

Na figura 21, os resíduos aproximam-se da reta teórica normal, assim, pode-se aceitar o princípio da normalidade. Os resíduos, vistos no gráfico à direita, mostram variância constante, não apresentando formas ou comportamentos óbvios, com isso, aceita-se o necessário comportamento homocedástico. Ainda na figura 21, no gráfico inferior, os resíduos são colocados de forma ordenada pelos estados brasileiros, e a linha não apresenta

comportamento óbvio, sendo assim, pode-se aceitar a independência dos erros e a validade geral do modelo IV.

Figura 21 – Normalidade dos resíduos, resíduos versus valores ajustado e resíduos ordenados - Modelo IV.

Fonte: Plotagem pelo autor no software R.

5 Discussão e Considerações Finais

O objetivo geral deste trabalho é verificar a relação entre altura e variáveis climáticas, o que foi satisfeito com êxito, como visto nos capítulos anteriores. O primeiro objetivo específico é a construção de cartogramas representativos das variáveis climáticas no Brasil, que teve como função auxiliar a realização da análise exploratória dos dados e a interpretação dos resultados, esse objetivo também foi concluído com êxito, como visto nas figuras 6, 7, 8 e 10.

O segundo objetivo específico é verificar a existência de relação entre altura e latitude na população brasileira, assim como narrado em pesquisas realizadas em outras regiões do mundo (YOKOYA et al., 2012; STULP; BARRETT, 2016). A figura 12 mostra a distribuição da altura padronizada e organizada pela latitude para o sexo feminino aos 12 e 19 anos de idade e para o sexo masculino aos 14 e 19 anos de idade. Nela, é clara a distribuição clinal da estatura em função da latitude; ainda é importante ressaltar que aos 19 anos de idade o crescimento é quase nulo, sendo assim, a distribuição da altura deve permanecer seguindo o critério latitudinal na fase adulta. A figura 13, dos cartogramas da distribuição da altura e do peso e a tabela 1, das alturas padronizadas, ajudam a corroborar a afirmativa da existência da distribuição latitudinal das estaturas.

O terceiro objetivo, que é determinar os elementos climáticos que influenciam no crescimento, também foi satisfeito, pois, buscou-se identificar a relação entre crescimento humano e a atuação regionalizada e sazonalizada das variáveis climáticas: temperatura, insolação, radiação solar global e duração efetiva do dia acima de 4.000lx. Nesse sentido, foram idealizados quatro modelos de regressão linear múltipla que apresentaram os seguintes resultados:

- O Modelo I explica a altura feminina aos 12 anos de idade em junho - início do inverno - e mostra que 75% da variação da altura é dada diretamente em resposta ao peso corporal e inversamente à duração efetiva do dia, que é determinada pela localização geográfica e pela sazonalidade, sendo que essa variável climática tem maior influência na descrição da altura do que o peso (cf. equação 16). Este modelo mostra que no inverno, a relação entre duração efetiva do dia e altura é inversa, isso porque as alturas maiores estão em regiões meridionais, onde os dias são menores nessa época do ano;

- O Modelo II explica a altura feminina aos 12 anos de idade em dezembro - início do verão - nele, é mostrado que 81% da variação da altura é em resposta ao peso corporal e à duração efetiva do dia. Como no Modelo I, o peso tem menor influência na descrição da altura do que a variável climática (cf. equação 17), entretanto, no verão, a relação entre altura e duração efetiva do dia é direta e positiva, pois, nas regiões mais meridionais do território, onde as alturas são as maiores, também ocorrem os dias mais longos, conforme visto na figura 10;
- O Modelo III explica a altura masculina aos 14 anos de idade em junho - início do inverno - e mostra que 85% da variação da altura é dada em resposta ao peso e à temperatura ambiental. Este é o único modelo em que a duração efetiva do dia não é considerada resposta à altura e surge a temperatura como variável climática explicativa. Por outro lado, também é o único modelo em que o peso é uma variável resposta mais importante do que a variável climática (cf. equação 18);
- O Modelo IV explica a altura masculina aos 14 anos de idade em dezembro - início do verão - e mostra que 86% da variação da altura é dada em resposta ao peso corporal e à duração efetiva do dia. Neste caso, a variável climática é melhor descritor da altura do que o peso. (cf. equação 19). Assim como observado no sexo feminino, (Modelo II) a relação entre duração efetiva do dia e estatura é direta no verão, isso ocorre porque as alturas maiores são correlacionadas com os dias mais longos nas regiões meridionais do Brasil nessa época do ano.

A comparação entre os modelos mostra a importância do peso corporal para a determinação da altura das pessoas, já que essa variável é mantida em todas as equações de regressão. A importância da sazonalidade das variáveis climáticas também é marcante, pois: o Modelo I mostra influência negativa entre crescimento e duração efetiva do dia; o Modelo II mostra influência positiva entre crescimento e duração efetiva do dia, essa alternância ocorre porque a amplitude da variável climática é maior nas regiões mais ao sul, onde as alturas também são maiores (cf. figuras 10 e 13); no Modelo III, surge a temperatura como importante descritora climática, enquanto que, no Modelo IV, a duração efetiva do dia é a variável climática que melhor descreve a altura.

Na sequência, a influência do peso corporal e das variáveis climáticas no crescimento humano é discutida sob a luz de diversas referências bibliográficas e dos resultados dos modelos. Posteriormente é colocada uma seção que descreve como a literatura explica o

mecanismo fisiológico responsável pelo gradiente geográfico da altura e ainda uma seção que apresenta, de forma abrangente, alguns pontos sobre genética e crescimento das populações.

5.1 *Peso corporal*

Yokoya et al. (2012) utilizam o peso corporal como um índice de ingestão alimentar, seguindo a concepção de que o peso é diretamente proporcional à quantidade de alimentos ingeridos. É nesse mesmo sentido que o peso corporal é colocado nesta dissertação: uma forma de adicionar a influência da alimentação nos modelos de regressão. Norgan (2002, p.139), explica que

“nutrição é o processo pelo qual organismos vivos obtém e transformam substâncias exógenas, sólidas e líquidas, que são necessárias para a manutenção da vida, crescimento, funções normais do organismo e produção de energia”

Ainda segundo o mesmo autor, o princípio da incerteza de Heisenberg pode ser aplicado para exemplificar a dificuldade em se realizar a quantificação de ingestão alimentar de uma pessoa: quanto mais avança-se na tentativa de medir, maior a probabilidade de afetar o que está sendo medido.

Os Modelos mostraram que o coeficiente correlação entre altura e peso é forte tanto para o sexo feminino ($r=0,84$), quanto para o sexo masculino ($r=0,87$), independente da estação do ano, estando presente em todas as equações de regressão encontradas.

5.2 *Temperatura*

Newman (1953) mostrou em seu trabalho de antropologia que a distribuição da altura de populações pré-colombianas segue um gradiente geográfico, o que parece corroborar a Regra de Bergmann, do aumento corporal em função da temperatura. Palmer et al. (1933) mostrou que em localidades de clima temperado, a taxa de crescimento é maior durante os meses de primavera e verão. Yokoya e Higuchi (2016) expõem que crianças tratadas com hormônio de crescimento (r-hGH) têm mostrado variação na taxa de crescimento em latitudes diferentes e com velocidade maior no verão do que no inverno.

Nos modelos propostos neste trabalho, a variável temperatura mostrou-se relevante apenas no Modelo 3, juntamente com o peso corporal, na estimação da altura masculina

aos 14 anos de idade no mês de junho. Dessa forma, pode-se concluir que a Regra de Bergmann não parece ser o principal fator do gradiente geográfico da altura no Brasil.

5.3 *Insolação*

Diversos pesquisadores (NEWMAN, 1953; SCHELL; KNUTSEN, 2002; YOKOYA e HIGUCHI, 2016) buscaram identificar a relação entre crescimento e luz solar, aqui colocada nas variáveis climáticas: insolação, radiação, duração do dia e temperatura, esta última comentada na seção anterior. Marshall e Swan (1971) estudaram crianças cegas no sul da Inglaterra (latitude 52,35°; longitude -1,17°) e demonstraram que os meses de máximo crescimento foram distribuídos uniformemente durante o ano, enquanto há característica sazonal na velocidade de crescimento em crianças não cegas: a velocidade de crescimento máxima ocorre entre os meses de janeiro e junho. Em outro trabalho, Marshall (1975) estudou 300 crianças num intervalo de dois anos em Orkney Islands (latitude 58,98°; longitude -2,96°), um arquipélago próximo à Escócia e encontrou correlação negativa entre crescimento e duração do dia ($r=-0,29$) e crescimento e temperatura ($r=-0,32$), ou seja, quanto menor a duração do dia ou a temperatura, maiores são as alturas. Prosseguindo nos estudos que consideraram a luz solar como variável explicativa, pode-se citar Schell e Knutsen (2002) que relatam um trabalho realizado no Congo (latitude -0,23°; longitude 15,83°), cuja conclusão é que o crescimento de crianças é mais rápido em períodos secos (inverno) quando comparados com períodos chuvosos (verão), e a possível explicação desse fato, é que mesmo a duração dos dias sendo maior no período chuvoso do ano (verão), a exposição maior ao sol ocorre em períodos de tempo seco. Schell e Knutsen (2002) ainda comentam um trabalho semelhante realizado na Guatemala (latitude 6,71°; longitude -80,44°): crianças de 5 e 7 anos cresceram mais rapidamente nos períodos secos do ano, com maior exposição solar. Estes dois últimos casos ajudam a mostrar a importância do ambiente como descritor do crescimento humano, porém, expõe a dificuldade em se obter alguma regra generalista, pois, outros fatores poderiam constar nos modelos, como por exemplo, cobertura vegetal e pluviosidade.

Os Modelos I, II, III e IV mostram que a insolação, que é a quantidade de horas de sol em determinado período de tempo, no caso, junho e dezembro, não mostrou-se significativa para a estimação da altura, pois essa variável climática apresentou correlação

fraca com a altura (cf. figuras 14, 16, 18 e 20) tendo sido excluída em todos os modelos obtidos, o que parece desacordar com o proposto por Schell e Knutsen (2002).

5.4 *Radiação solar global*

Segundo Varejão-Silva (2006), a radiação solar global é a energia eletromagnética proveniente do sol, que atinge a superfície da Terra de maneira direta ou indireta em determinado instante e local; ainda segundo o autor, 44% da radiação solar está na faixa espectral da luz visível, (cf. figura 8); a radiação solar ultravioleta, como será visto na próxima secção, é reconhecida como responsável por iniciar processos metabólicos no organismo humano que são ligados ao crescimento, como a síntese de vitamina D. Yokoya et al. (2012) encontrou correlação negativa entre altura e radiação solar, sugerindo uma relação inversa entre a variável climática e vitamina D; essa sugestão parece contradizer a literatura, que descreve uma relação direta entre radiação e a síntese da vitamina D, conforme visto em Schell e Knutsen (2002). A resposta para esse paradoxo pode ser dada pela sazonalidade dos fenômenos climáticos, que não foi considerada em Yokoya et al. (2012).

Nos Modelos I e III, onde a radiação solar é a observada no mês de junho, existe correlação negativa entre altura e a variável climática, assim como visto em Yokoya et al. (2012), entretanto, no início do verão, em dezembro, a correlação é invertida, tornando-se positiva entre altura e radiação solar, o que corrobora o proposto por Schell e Knutsen (2002). Apesar dessa constatação, a radiação solar global não se manteve como estimador da altura no Brasil em nenhum dos quatro modelos finais.

5.5 *Duração efetiva do dia e sazonalidade*

Yokoya e Shimizu (2011) explicam que a duração dos dias é um importante fator ambiental que afeta todos os seres vivos. Além disso, exemplificam que diferentes espécies possuem diferentes níveis de sensibilidade luminosa:

“a sensibilidade do ritmo circadiano de melatonina em humanos não é a mesma que a fotossensibilidade em flores em formação. Comparando com as plantas, uma relativamente alta intensidade luminosa (50-600lx) pode induzir considerável mudança de fase nos ritmos circadianos de melatonina em humanos”.

como explicado no capítulo de metodologia, o método para cálculo da duração efetiva do dia, possui a capacidade de determinar a duração dos dias acima de uma pré-determinada intensidade luminosa, escolhida e referenciada a partir da literatura e para qualquer localização geográfica. Dessa forma, a duração do dia a 4.000lx em todo o Brasil foi calculada e adicionada aos quatro modelos de estimação da altura de meninas e meninos.

O Modelo I, da estimação da altura feminina em junho, mostra que existe correlação negativa e forte entre altura e duração efetiva do dia ($r=-0,75$) e essa variável, juntamente ao peso, mostrou-se estatisticamente relevante na análise de regressão (cf. figura 14 e tabela 2); no Modelo II, agora com os dados climáticos de dezembro, ainda para o sexo feminino, a correlação entre altura e duração efetiva do dia ainda mostra-se forte, porém positiva ($r=0,76$), e também acompanhada pelo peso, como no Modelo I. Essa duas variáveis fazem parte da equação de regressão que descreve a altura do sexo feminino aos 12 anos no mês de dezembro (cf. figura 16 e tabela 3).

Os Modelos III e IV mostram a estimativa da altura masculina nos meses de junho e dezembro, respectivamente. Em junho, a correlação entre altura e duração efetiva do dia é negativa e forte ($r=-0,86$), entretanto essa variável climática não participa do resultado final do modelo, a variável que é estatisticamente relevante nesse mês do ano para descrever a altura é a temperatura (cf. figura 18 e tabela 4). No Modelo IV, mês de dezembro, a correlação entre altura e duração efetiva do dia é forte e positiva ($r=0,78$) e o fator climático surge como estimador da altura, junto ao peso, no modelo de regressão (cf. figura 20 e tabela 5).

5.6 *Respostas fisiológicas*

Schell e Knutsen (2002, p.170) explicam que a exposição à radiação solar ultravioleta estimula a síntese de vitamina D, que é reconhecida como um importante fator para o desenvolvimento do esqueleto e sugerem que a exposição solar e a produção de vitamina D pelo organismo podem ser a resposta para o crescimento mais rápido de crianças que vivem em climas temperados durante a primavera e verão e o crescimento mais rápido das crianças em épocas secas do ano em climas tropicais.

Outro linha de pesquisa sugere que a influência da iluminância no crescimento é dada pela secreção de melatonina. Reece et al. (2015, p.1009) explicam que a melatonina é

um hormônio produzido na glândula pineal e que “tem seus principais efeitos relacionados aos ritmos biológicos associados à reprodução e a níveis de atividade diária”; além disso, “a melatonina é secretada à noite[...] no inverno, quando as noites são mais longas, mais melatonina é secretada”. Segundo Yokoya et al. (2012), a melatonina inibi a maturação sexual e, conseqüentemente, posterga a maturação esquelética, permitindo que os indivíduos tenham “mais tempo” para atingir sua estatura adulta. Os autores ainda comentam que exposições luminosas acima de 4.000lx, em ambientes externos, aparentam ser o limite de iluminância que começa a afetar a secreção de melatonina em pessoas que passam muito do seu tempo em ambientes fechados, já que a luminosidade de ambientes interiores corresponde a menos de 10% da luminosidade exterior.

Uma outra abordagem para a atuação da melatonina no crescimento humano é explicada por Cipolla-Neto e Afeche (2012): a melatonina sinaliza sazonalmente o aumento da ingesta alimentar e, conseqüentemente, o peso corporal tende a aumentar quando as noites são crescentes. A partir do solstício de inverno, as noites e a ingesta alimentar decrescem, juntamente ao peso corporal. Como visto nas correlações entre altura e peso (cf. 14, 16, 18 e 20), e discutido anteriormente, a importância da alimentação na constituição da altura é bastante importante, o que torna esta abordagem também plausível para explicar a variação clinal na altura das pessoas.

5.7 *Genética*

Reece et al. (2015, p.252-253) ensinam que “genética é o estudo científico da herança e da variação hereditária” e ainda: “Os pais doam aos seus descendentes as informações codificadas na forma de unidades hereditárias chamadas genes [...] os genes são responsáveis pelas semelhanças na família”

A composição genética de um organismo é denominada genótipo. As características físicas e fisiológicas dos organismos, o que inclui a altura dos seres humanos, é o chamado fenótipo, que é o produto de um genótipo herdado e de influências ambientais. A altura humana é um caracter fenótipo influenciado por múltiplos genes (REECE et al., 2015, p.481).

Stulp e Barrett (2016), esclarecem que, de maneira geral, a porcentagem de influência genética na altura das pessoas varia entre países, isso porque é dependente do nível de

desenvolvimento social de cada região. Em países considerados pobres, como por exemplo, a Nigéria e a Jamaica, os fatores genéticos explicam 62% e 74% da altura, respectivamente (LUKE et al., 2001). Stulp e Barrett (2016) ainda colocam que em países desenvolvidos, o fator genético é mais importante para o crescimento do que causas ambientais; em contrapartida, nos países em desenvolvimento, dada maior insegurança alimentar, as causas ambientais crescem em importância como fator de crescimento.

Os quatro modelos deste trabalho mostram os coeficientes de determinação R^2 acima de 75%, que representa o quanto a variabilidade da altura é descrita pela variação do peso e das variáveis climáticas. A quantificação da influência genética no crescimento não pode ser precisamente determinada nos modelos, entretanto, pode-se concluir que ela está na diferença entre um $R^2 = 100\%$ (um valor teórico) e quanto os modelos realmente explicam a variabilidade das alturas. Além disso, a genética é uma variável oculta que faz parte dos modelos, pois, está implícita na variável peso, que por sinal, pode ser dado em função da altura, pois há forte correlação entre essas variáveis ($r = 0,84$ para o sexo feminino e $r = 0,87$ para o sexo masculino).

5.8 Limitações e etapas posteriores

Como mostrado anteriormente, este é um estudo ecológico e, como tal, a unidade de análise são grupos populacionais e não os indivíduos. Por esse motivo, é preciso evitar que falsas induções ou extrapolações sejam feitas, o que, segundo Bonita et al. (2010), seria uma falácia ecológica, pois, a relação entre exposição e efeito no nível individual não pode ser totalmente estabelecida.

Em etapas posteriores, duas abordagens podem ser realizadas: a primeira é uma pesquisa laboratorial, de coleta de material biológico e acompanhamento metódico do crescimento da estatura humana, para buscar a resposta de como o corpo responde fisiologicamente às variáveis ambientais; a segunda abordagem é matemática, com a modelagem de um sistema dinâmico que busque responder como é dado o sincronismo entre o ritmo circadiano dos seres humanos e as diferentes iluminâncias do ambiente. As duas propostas devem considerar a variabilidade sazonal e latitudinal da duração efetiva do dia.

Tanto a possibilidade de análise laboratorial quanto a abordagem por modelos matemáticos devem partir dos pressupostos delimitados nesta dissertação, que veio corroborar com dados brasileiros, o que outros estudos já haviam relatado em demais regiões do mundo: o meio ambiente exerce influência no crescimento humano e a sazonalidade da duração efetiva do dia é uma resposta para a variação clinal observada.

A síntese de vitamina D no organismo dos habitantes dos estados mais ao sul do Brasil, região em que são observados os dias mais longos do país nos meses de verão e a secreção de melatonina que é impulsionada nas noites mais longas do ano, no inverno, ainda nas regiões mais ao sul do país, parecem agir em conjunto e de forma cíclica sobre a fisiologia humana para que as maiores alturas observadas estejam localizadas nas regiões mais distantes do Equador, tanto no Brasil como em outras regiões do mundo. Dessa forma, conclui-se que as análises e modelagens futuras devem procurar uma resposta sincronizada e complementar das atividades fisiológicas e do meio ambiente.

Referências¹

- AHO, K.; DERRYBERRY, D.; PETERSON, T. Model selection for ecologists: the worldviews of aic and bic. *Ecology*, Wiley Online Library, v. 95, n. 3, p. 631–636, 2014. Citado na página 39.
- ALMEIDA, H. A. d. *Climatologia Aplicada à Geografia*. 1. ed. Campina Grande: EDUEPB, 2016. 317 p. Versão digital. Citado na página 38.
- BALDI, B.; MOORE, D. S. *A prática da estatística nas ciências da vida*. Tradução Ana Maria Lima de Farias e Vera Regina Lima de Farias e Flores. 2. ed. [S.l.]: LTC, 2014. 128 p. Capítulos opcionais. Citado 2 vezes nas páginas 38 e 41.
- BONITA, R.; BEAGLEHOLE, R.; KJELLSTRÖM, T. *Epidemiologia básica*. Tradução Juraci A. Cesar. 2. ed. São Paulo: Editora Santos, 2010. 213 p. Citado 2 vezes nas páginas 26 e 62.
- CIPOLLA-NETO, J.; AFECHÉ, S. C. Gândula pineal. In: AIRES, M. de M. (Org.). *Fisiologia Básica*. 4. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2012. p. 1045–1053. Citado na página 61.
- EVELETH, P. B.; TANNER, J. M. *Worldwide variation in human growth*. 2. ed. Cambridge: University of Cambridge, 1990. Citado 3 vezes nas páginas 14, 17 e 25.
- FÁVERO, L. P.; BELFIORE, P. *Manual de análise de dados: estatística e modelagem multivariada com Excel®, SPSS® e Stata®*. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier Brasil, 2017. Citado 4 vezes nas páginas 38, 39, 40 e 41.
- GOOGLE. *Google earth pro*. [S.l.], 2018. Disponível em: <<https://www.google.com.br/earth/download/gep/agree.html>>. Acesso em: 10 nov. 2018. Citado 3 vezes nas páginas 21, 23 e 24.
- GRASGRUBER, P.; SEBERA, M.; HRAZDIRA, E.; CACEK, J.; KALINA, T. Major correlates of male height: A study of 105 countries. *Economics & Human Biology*, Elsevier, v. 21, p. 172–195, 2016. Citado 4 vezes nas páginas 14, 20, 25 e 37.
- IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Pesquisa de Orçamentos Familiares 2002-2003: Antropometria e estado nutricional de crianças, adolescentes e adultos no Brasil*. Rio de Janeiro: [s.n.], 2004. DVD. Citado 11 vezes nas páginas 14, 21, 23, 26, 43, 44, 45, 46, 49, 51 e 53.
- IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Pesquisa de Orçamentos Familiares 2008-2009: Antropometria e estado nutricional de crianças, adolescentes e adultos no Brasil*. Rio de Janeiro: [s.n.], 2010. DVD. Citado 11 vezes nas páginas 14, 21, 23, 26, 43, 44, 45, 46, 49, 51 e 53.
- IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Base cartográfica vetorial contínua do Brasil ao milionésimo - BCIM*. [s.n.], 2016. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias-novoportal/cartas-e-mapas/bases-cartograficas-continuas/15759-brasil.html?=&t=downloads>>. Acesso em: 26 dez. 2018. Citado 3 vezes nas páginas 21, 22 e 24.

¹ De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6023.

INMET. INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. *Normais Climatológicas*. [S.l.], 2009. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisclimatologicas>. Acesso em: 10 out. 2017. Citado 6 vezes nas páginas 21, 27, 28, 29, 30 e 31.

JAMES, F. C. Size variation in birds and its relationship to climate. *Ecology*, Wiley on behalf of the Ecological Society of America, v. 51, n. 3, p. 365–390, maio 1970. Citado 2 vezes nas páginas 14 e 16.

LAPEGE. *Laboratório de Pesquisas em Geografia Física*. 2019. Disponível em: <http://www.uel.br/laboratorios/lapege/pages/base-de-dados-shp-do-brasil.php>. Acesso em: 17 mar. 2019. Citado na página 21.

LOURENÇO, B.; QUEIROZ, L. B. Crescimento e desenvolvimento puberal na adolescência. *Revista de Medicina*, v. 89, n. 2, p. 70–75, 2010. Citado 2 vezes nas páginas 24 e 25.

LUKE, A.; GUO, X.; ADEYEMO, A.; WILKS, R.; FORRESTER, T.; JR, W. L.; COMUZZIE, A.; MARTIN, L.; ZHU, X.; ROTIMI, C. et al. Heritability of obesity-related traits among nigerians, jamaicans and us black people. *International journal of obesity*, v. 25, p. 1034–1041, 2001. Citado na página 62.

MARSHALL, W. The relationship of variations in children's growth rates to seasonal climatic variations. *Annals of human biology*, Taylor & Francis, v. 2, n. 3, p. 243–250, 1975. Citado na página 58.

MARSHALL, W.; SWAN, A. Seasonal variation in growth rates of normal and blind children. *Human Biology*, JSTOR, v. 43, n. 4, p. 502–516, 1971. Citado 2 vezes nas páginas 15 e 58.

MAYR, E. Geographical character gradients and climatic adaptation. *Evolution*, Wiley Online Library, v. 10, n. 1, p. 105–108, 1956. Citado na página 16.

NEWMAN, M. T. The application of ecological rules to the racial anthropology of the aboriginal new world. *American Anthropologist*, Public Library of Science, v. 55, n. 3, p. 311–327, 1953. Citado 6 vezes nas páginas 14, 16, 18, 37, 57 e 58.

NORGAN, N. G. Nutrition and growth. In: CAMERON, N. (Org.). *Human Growth and Development*. California: Academic Press, 2002. p. 139–164. Citado 2 vezes nas páginas 25 e 57.

OXFORD. *Oxford reference*. 2019. Disponível em: <http://www.oxfordreference.com/view/10.1093/oi/authority.20110803095500389>. Acesso em: 09 jan. 2019. Citado na página 16.

PALMER, C. E. et al. Seasonal variation of average growth in weight of elementary school children. *Pub Health*, US Government Printing Office, p. 211–233, 1933. Citado na página 57.

QGIS, D. T. *QGIS geographic information system*. [S.l.], 2018. Disponível em: <http://qgis.osgeo.org>. Citado 6 vezes nas páginas 21, 24, 28, 31, 32 e 36.

R Core Team. *R - A language and environment for statistical computing*. Vienna, Austria, 2018. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Citado na página 22.

REECE, J. B.; WASSERMAN, S. A.; URRY, L. A.; CAIN, M. L.; MINORSKY, P. V.; JACKSON, R. B. ***Biologia de Campbell***. 10. ed. Porto Alegre: Artmed Editora, 2015. 1442 p. Citado 2 vezes nas páginas 60 e 61.

REFINETTI, R. ***Circadian physiology***. 2. ed. Florida: Taylor and Francis Group, 2006. Citado 2 vezes nas páginas 36 e 37.

SCHELL, L. M.; KNUTSEN, K. L. Environmental effects on growth. In: CAMERON, N. (Org.). ***Human Growth and Development***. California: Academic Press, 2002. p. 165–195. Citado 7 vezes nas páginas 14, 15, 17, 27, 58, 59 e 60.

STULP, G.; BARRETT, L. Evolutionary perspectives on human height variation. ***Biological Reviews***, Wiley Online Library, v. 91, n. 1, p. 206–234, 2016. Citado 3 vezes nas páginas 55, 61 e 62.

TIBA, C.; FRAIDENRAICH, N.; LYRA, F.; NOGUEIRA, A. Atlas solarimétrico do brasil: banco de dados terrestres. ***Recife: Editora Universitária da UFPE***, p. 32, 2000. Citado 6 vezes nas páginas 21, 27, 31, 32, 33 e 36.

U. S. NAVAL OBSERVATORY. ***Explanatory Supplement to the Astronomical Almanac***. [S.l.]: Mill Valley: University Science Books, 1992. Citado na página 34.

VAREJÃO-SILVA, M. A. ***Meteorologia e Climatologia***. 2. ed. Recife: Instituto nacional de meteorologia, 2006. Versão digital. Citado 5 vezes nas páginas 29, 32, 33, 34 e 59.

YOKOYA, M.; HIGUCHI, Y. Chronobiological hypothesis about the association between height growth seasonality and geographical differences in body height according to effective day length. ***Journal of circadian rhythms***, Ubiquity Press, v. 14, n. 1, p. 1–18, 2016. Citado 6 vezes nas páginas 15, 18, 19, 35, 57 e 58.

YOKOYA, M.; SHIMIZU, H. Estimation of effective day length at any light intensity using solar radiation data. ***International journal of environmental research and public health***, Molecular Diversity Preservation International, v. 8, n. 11, p. 4272–4283, 2011. Citado 3 vezes nas páginas 34, 35 e 59.

YOKOYA, M.; SHIMIZU, H.; HIGUCHI, Y. Geographical distribution of adolescent body height with respect to effective day length in japan: an ecological analysis. ***PloS one***, Public Library of Science, v. 7, n. 12, p. 1–15, 2012. Citado 12 vezes nas páginas 14, 15, 17, 19, 25, 27, 35, 37, 55, 57, 59 e 61.