



Universidade de São Paulo

Programa de Pós-graduação Interunidades em Ensino de Ciências

Curso de Mestrado – Ensino de Biologia

(IFUSP/IQUSP/IBUSP/FEUSP)

THALITA DE SOUZA NASCIMENTO

**Desenvolvimento de materiais de estudo digitais para o ensino de Ciências a partir
da modelagem do movimento ocular**

São Paulo

2023

THALITA DE SOUZA NASCIMENTO

Desenvolvimento de materiais de estudo digitais para o ensino de ciências a partir da modelagem do movimento ocular

Versão Corrigida

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação Interunidades em Ensino de Ciências da Universidade de São Paulo para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Ciências.

Área de concentração: Ensino de Biologia.
Orientador: Prof. Dr. Paulo Rogério Miranda Correia.

São Paulo

2023

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

FICHA CATALOGRÁFICA
Preparada pelo Serviço de Biblioteca e Informação
do Instituto de Física da Universidade de São Paulo

Nascimento, Thalita de Souza

Desenvolvimento de materiais de estudo digitais para o ensino de ciências a partir da modelagem do movimento ocular. São Paulo, 2023.

Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo. Faculdade de Educação, Instituto de Física, Instituto de Química e Instituto de Biociências.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Rogério Miranda Correia

Área de Concentração: Ensino de Biologia.

Unitermos: 1. Biologia – Estudo e ensino; 2. Ensino e aprendizagem; 3. Educação; 4. Estações do ano.

USP/IF/SBI-094/2023

NASCIMENTO, T.S. (2023). **Desenvolvimento de materiais de estudo digitais para o ensino de ciências a partir da modelagem do movimento ocular** (Dissertação de Mestrado). Instituto de Física, Instituto de Química, Instituto de Biociências, Faculdade de Educação. Universidade de São Paulo, São Paulo.

Aprovada em: 08/12/2023

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Paulo Rogério Miranda Correia (Orientador) Instituição: EACH/USP

Profa. Dra. Maria Cristina Motta de Toledo Instituição: EACH/USP

Prof. Dr. Rene Alberto Moritz da Silva e Forster Instituição: UERJ

“Àquele que é capaz de fazer infinitamente mais do que tudo o que pedimos ou pensamos, de acordo com o seu poder que atua em nós.”

Efésios 3:20

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus por todo seu amor e por colocar em minha vida pessoas que expressam cuidado por mim e que fazem tudo fazer sentido.

Agradeço aos meus pais Marcio e Fernanda, por todo apoio, incentivo e por serem meus maiores exemplos nessa vida. Tudo o que sou, devo a vocês.

Aos meus amados avós Fernando e Neusa (*in memoriam*). Vocês sempre foram os primeiros a acreditar em mim. Essa dissertação é para vocês.

Ao meu irmão Pedro, por sempre me ouvir e ser o irmão mais carinhoso desse mundo.

Ao meu noivo Isac, por me segurar todas às vezes que eu tropecei. Seu amor e o seu cuidado mudaram o sentido da minha vida.

Aos meus sogros Joseilde e Gervásio, por me acolherem e se tornarem genuinamente parte da minha família.

Aos meus primos que são como meus irmãos: Emily, Amanda, Matheus, Luiz Fernando, Izabella, Vitória, Larissa, Ana Clara e Laura. Todas as vezes que eu pensei em desistir, me lembrei da torcida de vocês. Obrigada por estarem comigo em todos os dias bons e ruins.

Aos meus tios e tias por todas as orações e por todo carinho. Eu sou muito abençoada por ter vocês em minha vida: tios Rodrigo e Fabiana, Flavia e Luiz, Tati e Fabiney, Ana e Elder, Zé e Marina, Mirian e Cláudio, Roberto e Jane, Marcia e Afonso, tio Joelso e tio Marcio (*in memoriam*).

Ao meu orientador, Paulo Correia, que teve paciência infinita comigo durante nove anos de ensinamentos: primeiro na graduação e depois durante o mestrado. Não tenho palavras para agradecer.

As professoras integrantes da banca do meu exame de qualificação pelas discussões, sugestões e disponibilidade. Eu tenho uma profunda admiração por vocês, professora Daniela e professora Joana.

Aos professores que participaram da pesquisa e contribuíram para sua melhoria, Roberto Ortiz, Victor Velásquez e Diego Falceta.

Aos colegas de grupo que, ao longo dos anos, se tornaram meus amigos e minha inspiração: Adriano, Adailton, Ivan, Izabela, José, Kleyfton, Marília e Alexandra.

Aos amigos encontrados ao longo dessa jornada, que estiveram comigo durante as alegrias e os desafios dos últimos anos: Luciana, Mirian, Raiane, Bruna, Thais e Vanedja.

A Isabela Casemiro, minha psicóloga, que prestou toda solidariedade e me ensinou a ver as coisas de outro ângulo quando tudo parecia uma grande bagunça.

Aos meus queridos estudantes do Colégio Centenário e do Colégio Nova Cachoeirinha. Vocês são minha maior fonte de inspiração. Toda e qualquer contribuição que essa dissertação oferece ao Ensino de Ciência, foi pensada para vocês e os que vierem depois de vocês.

E, por fim, à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de estudos concedida.

RESUMO

Nascimento, T.S. (2023). **Desenvolvimento de materiais de estudo digitais para o ensino de ciências a partir da modelagem do movimento ocular** (Dissertação de Mestrado). Instituto de Física, Instituto de Química, Instituto de Biociências, Faculdade de Educação. Universidade de São Paulo, São Paulo.

Materiais de estudos digitais são amplamente utilizados tanto em situações presenciais, quanto no ensino *online*. A literatura da área revela que a forma como um especialista e um novato exploram esses materiais são diferentes e estudar essa diferença pode nos levar à compreensão de como ocorre o processamento cognitivo da informação e conseqüentemente melhorar a aprendizagem dos estudantes. A modelagem do movimento ocular (EMME) tem despertado o interesse de pesquisadores da área de ensino que buscam desenvolver materiais de estudos digitais eficientes. A EMME consiste na análise do padrão de observação do professor (especialista no tema) para criar estímulos visuais que podem facilitar a compreensão do estudante (não especialista). Esses estímulos visuais são sobrepostos ao material de estudo a fim de direcionar o olhar dos não especialistas que desejam aprender sobre o tema. Esta dissertação teve como objetivo caracterizar de maneira qualitativa o comportamento visual de entrevistados que exploraram figuras sobre estações do ano, buscando melhores condições para a elaboração dos materiais de estudo com base no seu padrão de observação. Duas perguntas de pesquisa nortearam o estudo: (I) quais são as diferenças entre a forma como especialistas e não especialistas observam duas figuras sobre as estações do ano? E (II) existe diferença no comportamento visual de especialistas, de forma que isso impacte na elaboração do material de estudo? Para responder a essas perguntas, foram realizadas entrevistas individuais com dois especialistas que lecionam disciplinas de Ciências da Natureza e um não especialista. Todos foram convidados a observar duas figuras a respeito do conteúdo de estações do ano. O procedimento de coleta de dados contemplou a observação das figuras e um protocolo *think aloud*, onde os entrevistados expressaram em voz alta seus pensamentos enquanto observavam as figuras. A partir disso, foram construídos mapas conceituais buscando representar a estrutura de conhecimento e as características dos professores no que diz respeito ao assunto. A análise dos resultados revelou que a forma como os especialistas e o não especialista observam as figuras é diferente e que a forma como os especialistas observam as figuras está relacionada com sua formação acadêmica e área de atuação. Ambos especialistas mantiveram a estrutura básica de conhecimento sobre o tema, porém termos específicos de cada área foram adicionados.

Palavras-chave: Ensino de Ciências; Rastreamento ocular; Modelagem de Movimento Ocular; Constelações Pedagógicas.

ABSTRACT

Nascimento, T.S. (2023). **Development of digital study materials for science teaching using eye movement modeling** (Master's Dissertation). Institute of Physics, Institute of Chemistry, Institute of Biosciences, Faculty of Education. University of São Paulo, São Paulo.

Digital study materials are widely used both in face-to-face situations and in online teaching. Literature reveals that the way an expert and a novice explore these materials is different, and studying this difference can lead us to understand how cognitive processing of information occurs and consequently improve student learning. Eye movement modeling (EMME) has aroused the interest of teaching researchers who seek to develop efficient digital study materials. EMME consists of analyzing the teacher's observation pattern (expert in the subject) to create visual stimuli that can facilitate the understanding of the student (non-expert). These visual stimuli are superimposed on the study material in order to direct the gaze of non-specialists to learn about the topic. This dissertation aims to characterize the visual behavior of people who observed pictures about seasons, seeking better conditions for preparing study materials based on their observation pattern. Two research questions guided the study: (I) what are the differences between the way experts and non-experts observe two figures about the seasons? And (II) is there a difference in the visual behavior of experts, such that this impacts the preparation of study material? To answer these questions, individual interviews were carried out with two specialists who teach Natural Sciences subjects and one non-specialist. Everyone was invited to observe two figures regarding the content of seasons. The data collection procedure included observation of the figures and a think aloud protocol, where interviewees expressed their thoughts aloud while observing the figures. From this, conceptual maps were constructed seeking to represent the knowledge structure and characteristics of teachers with regard to the subject. The analysis of results revealed that the way experts and non-experts observe the figures is different and that the way experts observe the figures is related to their academic training and area of expertise. Both experts maintained the basic structure of knowledge on the topic, but specific terms for each area were added.

Keywords: Science Teaching; Eye Tracking; Eye Movement Modeling; Pedagogical Constellations

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Mapa conceitual que representa as principais informações referentes às nossas concepções sobre ensino-aprendizagem.	17
Figura 02: Representação da ocorrência da criação de significados.	19
Figura 03: Informações obtidas durante a interação entre o sujeito e o conteúdo visual, destacando (a) a sequência de leitura representada por pontos coloridos e (b) o mapa de calor sobre as regiões com maior interação.	26
Figura 04: Representação do plano celeste com ênfase nas estrelas que formam a constelação de escorpião.	31
Figura 05: Exemplo da constelação e condensação dos movimentos do ballet.	33
Figura 06: Constelação esquemática para o ensino de estações do ano elaborada a partir da análise de livros didáticos.	34
Figura 07: Constelações esquemáticas para o ensino de estações do ano – <i>cluster base</i> (a) e suplementares (b e c).	35
Figura 08: Mapa conceitual sobre estações do ano elaborado com base na constelação elaborada por Maton e Duran (2021).	37
Figura 09: A utilização dos recursos da memória de trabalho (representada pelos retângulos brancos) para lidar com as cargas intrínsecas (CI) e extrínsecas (CE) (representadas pelos retângulos vermelhos e azuis, respectivamente). Os recursos generativos (G), importantes para a aprendizagem, só estão disponíveis quando não há sobrecarga.	39
Figura 10: Informações registradas durante o rastreamento do olhar numa área de interesse.	41
Figura 11: Captura de tela dos exemplos de EMME para compreender o padrão de locomoção de peixes. As condições comparadas pelos autores envolveram: (a) o uso de informações verbais durante o vídeo de um peixe nadando; (b) vídeo com sinalização usando ponto sólido; e, (c) vídeo sinalizado desfocando as regiões irrelevantes.	43
Figura 12: Exemplo de material de estudo digital combinando imagem e texto sobre efeito estufa.	44
Figura 13: Texto ilustrado sobre as estações do ano utilizado pelos pesquisadores.	45
Figura 14: Plano da eclíptica.	48
Figura 15: Influência da inclinação do eixo da Terra na incidência de raios solares.	49
Figura 16: Etapas da coleta de dados.	49
Figura 17: Mapa de calor considerando a exploração da imagem com a perspectiva heliocêntrica.	51
Figura 18: A rota de observação do NE.	53
Figura 19: Mapa de calor considerando a exploração da imagem com a perspectiva geocêntrica.	54
Figura 20: A rota de observação do NE na figura com perspectiva geocêntrica.	55
Figura 21: Mapa de calor do EG considerando a exploração da imagem com a perspectiva heliocêntrica.	57
Figura 22: A rota de observação do EG na figura com perspectiva heliocêntrica.	60
Figura 23: Mapa de calor do EG considerando a exploração da imagem com a perspectiva geocêntrica.	62
Figura 24: A rota de observação do EG na figura com perspectiva geocêntrica.	63

Figura 25: Mapa de calor do EA considerando a exploração da imagem com a perspectiva heliocêntrica.	65
Figura 26: A rota de observação do EA na figura com perspectiva heliocêntrica.	67
Figura 27: Mapa de calor do EA considerando a exploração da imagem com a perspectiva geocêntrica.	70
Figura 28: A rota de observação do EA considerando a exploração da imagem com a perspectiva geocêntrica.	72
Figura 29: Mapa Conceitual elaborado a partir da entrevista com o NE.	76
Figura 30: Mapa Conceitual elaborado a partir da entrevista com EG.	78
Figura 31: Mapa Conceitual elaborado a partir da entrevista com EA.	79

LISTA DE TABELAS

Tabela 01: Dados de rastreamento ocular considerando a imagem com a perspectiva heliocêntrica. **73**

Tabela 02: Dados de rastreamento ocular considerando a imagem com a perspectiva geocêntrica. **74**

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AI - Área de Interesse

BNCC – Base Nacional Comum Curricular

CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

CE - Carga Extrínseca

CEP – Comitê de Ética em Pesquisa

CF - Contagem de Fixações

CI - Carga Intrínseca

CO - Contagem de Observações

EA - Especialista Astrônomo

EACH - Escola de Artes, Ciências e Humanidades

EG - Especialista Geólogo

EMME - *Eye Movement Modelling Example*

G - Recursos Generativos

GPMC - Grupo de Pesquisa Mapas Conceituais

LIPH - *Limited or Inappropriate Propositional Hierarchies*

MA – Mapa de Argumento

MC – Mapa Conceitual

MM – Mapas Mentais

NE - Não especialista

PUP – *Private Universe Project*

TEA – Transtorno do Espectro Autista

TDAH – Transtorno do Déficit de Atenção e Hiperatividade

TOC – Transtorno Obsessivo-Compulsivo

TCC - Teoria da Carga Cognitiva

TCL - Teoria do Código de Legitimação

TCLE - Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

TF - Tempo de Fixações

USP - Universidade de São Paulo

ZDP – Zona de Desenvolvimento Proximal

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	16
1. INTRODUÇÃO	20
1.1. APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA E AS MUDANÇAS CONCEITUAIS: A CONSTRUÇÃO DO CONHECIMENTO	20
1.2. ESTAÇÕES DO ANO COMO CONTEÚDO PROBLEMÁTICO	24
1.3. RASTREAMENTO OCULAR NO ENSINO DE CIÊNCIAS: UMA FERRAMENTA DE BUSCA PELA COMPREENSÃO DO PROCESSAMENTO COGNITIVO	25
1.4. MODELAGEM DE MOVIMENTO OCULAR	27
1.5. QUAL É A OPORTUNIDADE DE PESQUISA QUE NÓS IDENTIFICAMOS?	28
2. REFERENCIAL TEÓRICO	30
2.1. REPRESENTANDO A ARTICULAÇÃO DE CONCEITOS EM ESTAÇÕES DO ANO	30
2.2. RASTREAMENTO DO OLHAR: PARÂMETROS VINCULADOS AO PROCESSAMENTO COGNITIVO E A ATENÇÃO	38
2.3. <i>Como nós podemos explorar o rastreamento do olhar no ensino de ciências?</i>	42
3. PROCEDIMENTOS DA PESQUISA	47
3.1. CONTEXTO DA PESQUISA	47
3.2. COLETA DE DADOS	47
3.3. ANÁLISE DOS DADOS	49
3.3.1. <i>Parâmetros de Rastreamento Ocular</i>	49
3.3.2. <i>Caracterização dos especialistas utilizando mapas conceituais</i>	50
4. RESULTADOS	50
4.1. CARACTERIZAÇÃO DO NÃO ESPECIALISTA (NE)	50
4.1.1. <i>Imagem I: O plano da eclíptica (perspectiva heliocêntrica)</i>	50
4.1.2. <i>Imagem II: A inclinação do eixo da Terra e os raios solares (perspectiva geocêntrica)</i>	54
4.2. CARACTERIZAÇÃO DO ESPECIALISTA COM FORMAÇÃO EM GEOLOGIA (EG)	56
4.2.1. <i>Imagem I: O plano da eclíptica (perspectiva heliocêntrica)</i>	56
4.2.2. <i>Imagem II: A inclinação do eixo da Terra e os raios solares (perspectiva geocêntrica)</i>	61
4.3. CARACTERIZAÇÃO DO ESPECIALISTA EM ASTRONOMIA (EA)	64
4.3.1. <i>Imagem I: O plano da eclíptica (perspectiva heliocêntrica)</i>	64
4.3.2. <i>Imagem II: A inclinação do eixo da Terra e os raios solares (perspectiva geocêntrica)</i>	68
4.4. COMPARANDO OS PADRÕES DE VISUALIZAÇÃO DOS ENTREVISTADOS	73
4.4.1. <i>Tempo e contagem de fixações da imagem com a perspectiva heliocêntrica</i>	73
4.4.2. <i>Tempo e contagem de fixações da imagem com a perspectiva geocêntrica</i>	74
4.4.3. <i>Caracterização dos especialistas utilizando mapas conceituais</i>	75
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	81
REFERÊNCIAS	82

APRESENTAÇÃO

Desde pequena, sempre fui muito curiosa sobre tudo o que diz respeito à natureza. Cresci em uma casa simples, num quintal bem grande, com meus pais, meu irmão, meus avós, tios e primos, em Itaquaquecetuba (SP). Vivíamos cercados por árvores, galinhas, cachorro e gatos.

Havia poucas casas e nós tínhamos pouco dinheiro, então nossa diversão era andar no mato, procurar olhos d'água e colher frutinhas e sementes. Meu pai e meu avô eram responsáveis por nos levar para esses passeios que, nenhum de nós sabia, mas fazia florescer em nós respeito pela vida e, particularmente em mim, ainda mais curiosidade sobre a natureza.

Em 2013, ingressei na Universidade de São Paulo, no curso de Licenciatura em Ciências da Natureza. Eu me identifiquei com o curso instantaneamente e aproveitei cada oportunidade que a universidade me proporcionou. Dentre elas, eu ensinei adolescentes em cursinhos populares, ofereci aulas particulares para estudantes da rede pública, fiz estágios, monitorias e tive a oportunidade de desenvolver e participar de diversas atividades de pesquisa e extensão.

No final de 2014 passei a integrar o Grupo de Pesquisa e Mapas Conceituais, sob orientação do professor Paulo Correia, e desenvolvi o meu primeiro projeto de Iniciação Científica, intitulado: "Estudo sobre a desorientação causada pela estrutura de mapas conceituais". Nesse projeto, estudei a influência da organização estrutural dos mapas conceituais para a aprendizagem utilizando a tecnologia do rastreamento ocular a fim de analisar o comportamento visual de estudantes durante a leitura dos mapas conceituais.

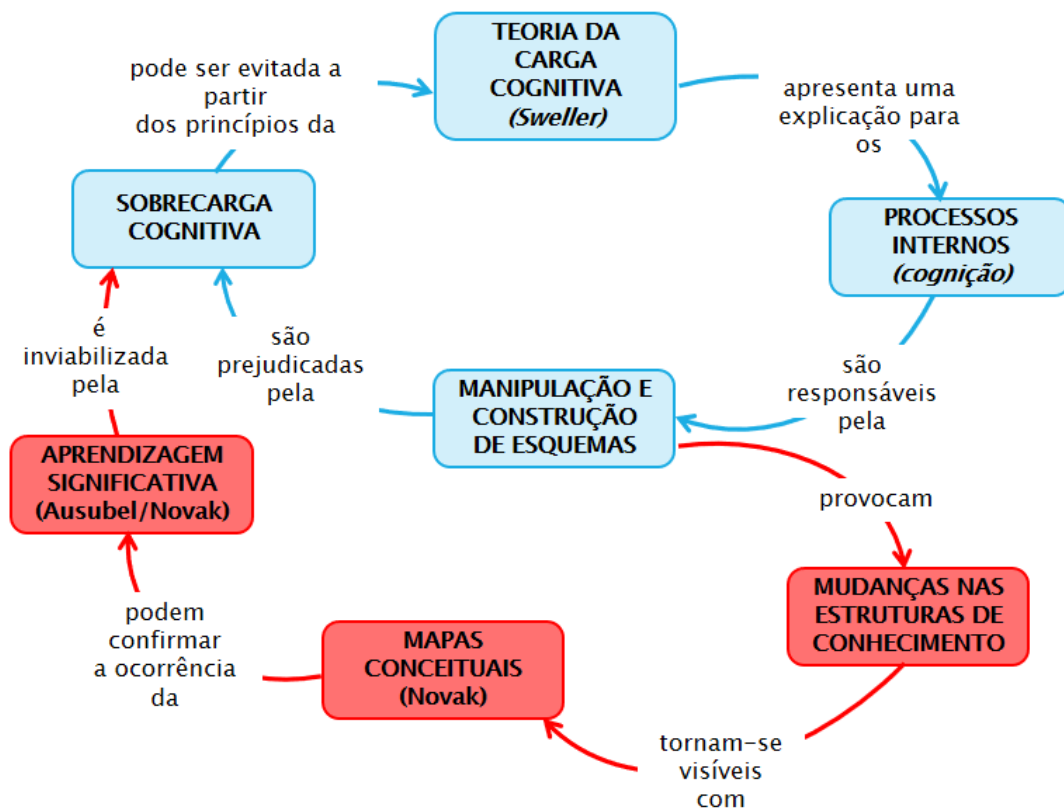
Esse projeto, juntamente com a minha paixão por ensinar, aprender e fazer ciência, foi o que me impulsionou a ingressar no mestrado em Ensino de Ciências, no qual desenvolvi esta dissertação, que teve como objetivo caracterizar de maneira qualitativa o comportamento visual de especialistas buscando melhores condições para a elaboração dos materiais de estudo com base no seu padrão de observação.

Antes de iniciar de fato a introdução da dissertação, acredito ser necessário apresentar o que eu chamo de “pano de fundo” do Grupo de Pesquisa Mapas Conceituais. “Pano de fundo” trata-se das nossas concepções sobre ensino-aprendizagem: uma reflexão escrita na tentativa de facilitar a compreensão de teorias que aparecem ao longo da dissertação e que fazem parte do arcabouço teórico da área de ensino.

NOSSAS CONCEPÇÕES SOBRE ENSINO-APRENDIZAGEM

A Figura 01 apresenta um mapa conceitual que representa as principais informações referentes às concepções que o nosso grupo de pesquisa utiliza para refletir sobre o processo de ensino-aprendizagem. Nossas concepções se baseiam na Teoria da Carga Cognitiva (TCC) e é por meio dela que buscamos formas de favorecer a ocorrência da aprendizagem significativa (Ausubel, 2000; Novak, 2001).

Figura 01: Mapa conceitual que representa as principais informações referentes às nossas concepções sobre ensino-aprendizagem.



Fonte: Elaborada pelos autores.

As cores do mapa conceitual representam a forma como relacionamos conceitos advindos da TCC e o processamento cognitivo (em azul) e a aprendizagem significativa, bem como os mapas conceituais (em vermelho). Essa é a forma como, para nós, é possível integrar as ideias dos três autores fundamentais para discutir as nossas pesquisas.

A TCC apresenta uma explicação para processos que ocorrem internamente no indivíduo, ou seja, é uma teoria que aborda a maquinaria cognitiva e trabalha a partir da noção de que tal maquinaria foi desenvolvida como uma consequência do processo evolutivo. A partir daí temos sistemas de memória que trabalham de diferentes maneiras para permitir que possamos aprender a partir daquilo que já sabemos.

A TCC pressupõe que a nossa memória é dividida entre a memória de curto prazo e a memória de longo prazo¹. A memória de curto prazo é limitada e é ela que acionamos quando estamos diante do desafio de aprender coisas novas. Já a memória de longo prazo é ilimitada e é o local onde ficam armazenados todos os conhecimentos que adquirimos de forma significativa. O grande desafio, portanto, é aprender significativamente, de forma que o novo aprendizado possa integrar a memória de longo prazo.

Todo novo aprendizado traz consigo dois tipos de cargas que ocupam espaço na memória de trabalho: as cargas intrínsecas e extrínsecas. A carga intrínseca está relacionada com o conteúdo a ser aprendido, já a carga extrínseca se relaciona com o formato da tarefa, ou, em outras palavras, o formato da instrução. Por exemplo, na aula de matemática do ensino fundamental, pode-se ensinar o que é um triângulo utilizando sua descrição: “triângulos são polígonos com três lados, três ângulos e três vértices” e em seguida desenhar um triângulo no quadro branco. O desenho do triângulo diminui a carga extrínseca que existe no texto, pois traz as palavras que descrevem a forma geométrica para o exemplo da forma geométrica. O formato da instrução muda, o que diminui a carga extrínseca.

A TCC, portanto, tenta explicar alguns dos processos internos importantes para a aprendizagem, pois eles são responsáveis pela manipulação e construção de esquemas. Consideramos que a aprendizagem significativa ocorre quando o indivíduo é capaz de manipular e construir esquemas agregando novos conceitos a conceitos que já estavam presentes nos esquemas na memória de longo prazo, criando significados (Figura 02).

¹ Mais informações sobre a TCC serão apresentadas na sessão do referencial teórico desta dissertação.

Figura 02: Representação da ocorrência da criação de significados.



Fonte: Retirado de Aguiar e Correia (2014).

A manipulação e construção de esquemas são duas etapas onde o indivíduo precisa, em primeiro lugar, recuperar as informações da memória de longo prazo para a memória de trabalho para ser manipulada e, eventualmente, construir novos esquemas ao trazer a nova informação. Ou ainda, aprimorar o esquema existente de forma que a manipulação e a construção de esquemas levem às mudanças nas estruturas de conhecimento. Por outro lado, caso haja sobrecarga na memória de trabalho, essa manipulação e construção de esquemas não acontece.

Quando não sobram recursos generativos (i.e. um “espaço” na memória de trabalho que permite o processamento da informação) e as cargas intrínsecas, extrínsecas ou ambas são maiores do que a capacidade da memória de trabalho, o indivíduo entra em sobrecarga cognitiva. A sobrecarga cognitiva é um elemento decisivo para sabermos se vai ou não acontecer à manipulação e construção de esquemas que levam a mudanças nas estruturas de conhecimento e conseqüentemente à aprendizagem.

Essas mudanças na estrutura de conhecimento, que são intangíveis, tornam-se visíveis quando elaboramos representações na forma de mapas conceituais e isso, sendo visível ao longo do tempo, pode confirmar a existência de mudanças, o que confirma a ocorrência da aprendizagem significativa, teoria já trabalhada por Ausubel (2000) e Novak (2001).

Em suma, com base nessas teorias (TCC e Teoria da Aprendizagem Significativa), consideramos que a aprendizagem significativa é inviabilizada pela sobrecarga cognitiva. Dessa forma, é necessário possuir recursos generativos para manipular os esquemas e mudar as estruturas de conhecimento, o que é visível nos mapas conceituais. Quando há sobrecarga cognitiva, esse processo não ocorre. Por esse motivo, buscamos estratégias para evitar que os estudantes entrem em sobrecarga durante o processo de aprendizagem.

1. INTRODUÇÃO

As Ciências da Natureza aproximam os seres humanos à compreensão de fenômenos que nos cercam e nos instigam desde os primórdios das civilizações, porém, os elementos presentes nas disciplinas de Física, Química e Biologia são complexos, podem ser microscópicos, macroscópicos e muitas vezes abstratos. Por conta disso, a Ciência é dominada pelo uso de figuras, vídeos e modelos (Gilbert, 1997). A elaboração e reformulação de tais materiais são os mecanismos pelo quais se definem as características, a construção e a socialização do conhecimento científico (Driver *et al.*, 1994).

Segundo Hodson (1992), aprender Ciências requer que os estudantes compreendam o conhecimento científico conceitual, ou seja, que eles conheçam e entendam os principais modelos científicos sobre o tema em estudo, bem como suas abrangências e limitações. Na maioria das vezes, esses modelos científicos são altamente abstratos em ciências da natureza, sendo referidos como modelos mentais.

A falta de entendimento conceitual dos estudantes é continuamente relatada na literatura usando termos como concepções errôneas (*misconceptions*, e.g., Cho; Kahle; Nordland, 1985; Griffiths; Grant, 1985), crenças ingênuas (*naive beliefs*, e.g., Caramazza; McCloskey; Green, 1981) ou concepções alternativas (*alternative conceptions*, e.g., Driver; Easley, 1978). Nessa pesquisa, adotamos o termo **concepções alternativas** como sinônimo de **concepção errônea**, entendido como conhecimentos ou ideias dos estudantes, manifestado após exposição a modelos ou teorias formais, que surgem como resultado de confusão ou pensamento não formal e que não estão de acordo com os conceitos científicos, teorias e leis que servem para descrever o mundo em que vivem. As concepções alternativas oferecem obstáculos à adoção de modelos adequados para explicar fenômenos observados na natureza.

1.1. Aprendizagem significativa e as mudanças conceituais: a construção do conhecimento

O conhecimento armazenado em nosso cérebro consiste em redes de conceitos e proposições. A medida que a aprendizagem significativa prossegue, novos significados conceituais são integrados em nossa estrutura cognitiva em maior ou menor grau, dependendo de quanto esforço fazemos para buscar essa integração e da quantidade e

qualidade de nossa estrutura cognitiva relevante existente. Se aprendermos estritamente por memorização, essencialmente nenhuma integração de significados de novos conceitos ocorre, e a estrutura cognitiva existente não é elaborada ou reconstruída.

O processo de construção de significados e conseqüentemente a aprendizagem humana começa no nascimento e acelera a medida que ganhamos a capacidade de usar a linguagem como forma de expressão e para codificar eventos e objetos ao nosso redor. Porém, alguns dos significados construídos ao longo da vida podem ser falhos ou limitados e isso pode distorcer ou impedir a construção de novos significados (Bransford; Brown; Cocking, 1999).

Ausubel (2000) diferencia a aprendizagem mecânica da aprendizagem significativa. Na aprendizagem mecânica o novo conhecimento é arbitrariamente incorporado na memória de longo prazo. Já na aprendizagem significativa, o estudante é capaz de integrar o novo conhecimento ao conhecimento que ele já possuía, dessa forma, sendo incorporado na memória de longo prazo e podendo ser acessado a qualquer momento pelo estudante e não apenas até o no momento da realização dos testes, como normalmente ocorre quando a aprendizagem é mecânica.

Novak (2001) realizou valiosas discussões sobre como ocorrem às construções de significados que, muitas vezes, podem ser limitadas. Para ele, as crianças pequenas, em idade pré-escolar, são extremamente hábeis em aprender significativamente, mas ao ingressar na escola formal, que muitas vezes enfatiza a memorização de respostas para testes, os estudantes passam a realizar predominantemente a aprendizagem por memorização. A maior parte desses “conhecimentos” logo se torna irrecuperável da memória de longo prazo e, mesmo que seja lembrado, raramente o estudante consegue aplicá-lo em novos contextos, como na resolução de novos problemas. Essa incapacidade de transferir conhecimento é chamada de aprendizagem situada.

A construção de sentido ocorre quando uma nova regularidade é percebida em eventos ou objetos, ou em seus registros, levando à formação de conceitos que são designados por um rótulo, isto é, uma palavra. É importante notar que todos os conceitos são uma abstração, uma representação da realidade em nossas mentes, não a própria realidade.

O que percebemos como regularidade nesses eventos, objetos ou registros a nossa volta, depende do que já sabemos, de nossas estratégias de observação e do estado emocional, físico e social em que nos encontramos (Macnamara, 1982; Ryder; Leach;

Driver, 1999). A extensão e a complexidade dos significados que temos em qualquer área de conhecimento dependem da qualidade e quantidade de aprendizagem significativa que buscamos nessa determinada área. Por sua vez, a quantidade e a qualidade das estruturas de conhecimentos que construímos determinarão nossa capacidade de transferir esse conhecimento para uso em novos contextos (Alexapolou; Driver, 1996; Basconas; Novak, 1985).

Infelizmente, o que é comumente observado é que os estudantes muitas vezes não podem transferir o que é aprendido em um contexto para outro e, portanto, a aprendizagem está situada no contexto de aprendizagem original. Novak (2001) enfatiza que o problema fundamental que leva à alta situatividade (i.e. predominância da aprendizagem situada) é a ênfase na aprendizagem “quase mecânica”, ou seja, na aprendizagem significativa seriamente deficiente. Nessa situação, o problema é ainda maior, pois essas estruturas de conhecimento defeituosas não podem ser modificadas ou corrigidas por memorização e prendem o estudante em uma transferência de conhecimento limitada ou defeituosa.

Facilitar a aquisição de estruturas conceituais válidas pelo estudante não é fácil, pois a construção de significados é um evento idiossincrático, envolvendo não apenas conceitos, mas também abordagens variadas de aprendizagens e predisposições emocionais variadas. O desafio é como ajudar os estudantes a construir suas estruturas conceituais individuais de forma que levem à aprendizagem significativa.

Em uma pesquisa com estudantes do curso de doutorado em química da Universidade de Cornell, não houve mudança no número e variedade de erros antes e após um conjunto de palestras cuidadosamente planejadas sobre cromatografia gasosa (Pendley; Bretz; Novak, 1994). Algo parecido foi observado em um estudo realizado pelo Private Universe Project (PUP, 1989), sediado na Universidade de Harvard, onde foi preparada uma série de vídeos mostrando como os graduados de Harvard, MIT e outras instituições importantes têm equívocos científicos observados em crianças. O estudo evidenciou que 21 dos 23 graduados de Harvard, ex-estudantes e professores não conseguiam explicar porque existem as estações do ano. Esse estudo ilustrou o fracasso do ensino de ciências atual, mesmo com graduados de Harvard.

Várias pesquisas evidenciaram que o estudo de eventos astronômicos, como por exemplo o fenômeno das estações do ano, fases da lua e eclipses possuem diversas concepções alternativas (Ojala, 2007).

Para rotular essas concepções de maneira mais honesta, Novak (1983) propôs que os problemas surgem das Hierarquias Proposicionais Limitadas ou Inapropriadas possuídas pelo indivíduo, ele então sugeriu o acrônimo LIPhs (do inglês *Limited or Inappropriate Propositional Hierarchies*) para representar essa ideia. O conceito de LIPhs reconhece que não podemos simplesmente pedir aos estudantes que eliminem um conceito “defeituoso” que eles têm em mente e substituam o rótulo e/ou descrição atualmente válidos. Essa não é uma tarefa simples, pois o aprendizado por memorização é ineficaz na reconstrução de estruturas cognitivas, portanto não é capaz de remover concepções alternativas e substituí-las por concepções válidas.

É importante reconhecer que somente o estudante é capaz de escolher aprender de forma significativa e reconstruir conscientemente sua estrutura cognitiva. O que é necessário muitas vezes é a reconstrução de um segmento completo de conhecimentos significativos onde o conceito que foi aprendido erroneamente esteja inserido, pois este já está integrado à estrutura proposicional do estudante e, conseqüentemente, relacionado a diversos outros conceitos que também irão precisar ser reestruturados.

Infelizmente o que acontece é que, à medida que os estudantes menos preparados tentam integrar o novo conhecimento em uma estrutura de conhecimento defeituosa, o equívoco é fortalecido (Pines; Novak, 1985). Dessa forma, a remediação de LIPhs precisa ser um processo iterativo em que o estudante constrói estruturas de conhecimento relevantes e as refina ao longo do tempo.

Durante a remediação de LIPhs, quatro processos cognitivos descritos por Ausubel (2000) são necessários:

1. **Diferenciação progressiva** – As diferenciações progressivas do conceito existente e dos significados proposicionais podem ocorrer através do processo de subsunção;
2. **Subsunção** – Novos exemplos de conceitos ou proposições são vinculados a conceitos e proposições existentes, refinando e elaborando o significado destes. Por exemplo, a elaboração do conceito de peixe pode envolver o estudo de representantes adicionais desse conceito, talvez incluindo alguns exemplos de não peixes, como os golfinhos;
3. **Aprendizagem superordenada** – Vários conceitos são reconhecidos como subconceitos de algo mais abrangente. Por exemplo, peixes, pássaros e mamíferos podem ser reconhecidos como tipos de vertebrados. A aprendizagem

superordenada normalmente contribui significativamente para o desenvolvimento da estrutura cognitiva e isso caracteriza o conhecimento dos especialistas (Chi; Feltovich; Glaser, 1981; Pendley; Bretz; Novak, 1994);

4. **Reconciliação integrativa** – É uma forma de aprendizagem significativa onde conceitos ou proposições em dois domínios de conhecimento, um tanto diferentes, são vistos como semelhantes e podem ser relacionados ou claramente diferentes e não relacionados. Por exemplo, quando golfinhos e leões marinhos são reconhecidos como semelhantes e relacionados a outros mamíferos, e diferentes e não intimamente relacionados aos peixes.

O desafio fundamental para a remediação de LIPs é, portanto, ajudar o estudante a entender como ele deve escolher, modificar tais conceitos e auxiliá-lo a reconhecer de forma explícita onde seus conceitos e/ou proposições são limitados, inadequados ou mal organizados hierarquicamente. A reconstrução das LIPs requer negociação de significados entre estudantes e professores e isso é um processo de reconstrução social e pessoal do indivíduo.

Não é fácil mudar o ensino de ciências das abordagens tradicionais que enfatizam a memorização para um tipo de abordagem onde prevaleça a aprendizagem significativa. Não existe “fórmula mágica”, porém há uma gama de ferramentas que podem ser eficazes. O que propomos nessa dissertação é facilitar a criação de um material de estudo digital que minimize a ocorrência de LIPs no ensino de estações do ano utilizando o rastreamento ocular.

1.2. Estações do ano como conteúdo problemático

Na Base Nacional Comum Curricular (BNCC), estações do ano é um tema abordado em diversas ocasiões e em diferentes níveis. Normalmente é apresentado nas disciplinas de geografia e ciências, sendo um assunto estruturado a partir da natureza planetária da Terra. O clima é definido como consequência desta natureza planetária e, por sua vez, é crucial do ponto de vista da sobrevivência da vida selvagem e dos seres humanos. Também são apresentados outros fatores que influenciam no clima, como relevo, vegetação, maritimidade, continentalidade, e por fim, latitude. No entanto, é um tema que merece atenção, pois apresenta muitas concepções alternativas.

Ojala (1992) realizou uma pesquisa que examinou as concepções de fenômenos planetários relacionados às mudanças de temperatura sustentadas por professores estagiários do ensino primário. Os resultados mostraram que poucos estudantes internalizaram esses fenômenos de acordo com os conceitos científicos. Após a realização de provas dissertativas, complementada por entrevistas, o autor concluiu que, para aqueles estudantes que se tornariam professores, o significado da esfericidade da Terra parecia obscuro. A pesquisa evidenciou que havia má compreensão sobre a influência do ângulo de inclinação do eixo da Terra. Da mesma forma, as diferenças de temperatura foram erroneamente atribuídas à distância da Terra ao Sol ou de um determinado lugar.

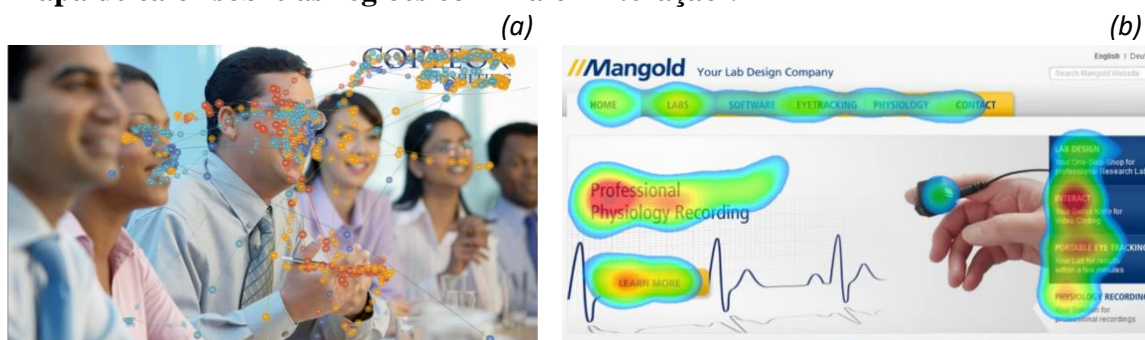
Da mesma forma, Atwood e Atwood (1996) realizaram uma pesquisa que investigou as concepções sobre o que causa as estações do ano para 49 professores estagiários do ensino fundamental. Apenas um dos entrevistados forneceu uma resposta que refletisse concepção científica a respeito do fenômeno. Enquanto os demais forneceram respostas contendo concepções alternativas sobre o tema. A distância da Terra ao Sol foi à concepção alternativa mais comumente expressa. Houveram outras investigações relacionadas ao fenômeno de estações do ano e os resultados revelaram que os conceitos dos entrevistados são imprecisos mesmo em questões básicas (Nussbaum 1979; Klein 1982; Baxter 1989).

1.3. Rastreamento ocular no ensino de ciências: uma ferramenta de busca pela compreensão do processamento cognitivo

A literatura revela que a forma como os estudantes observam textos, figuras ou vídeos estão relacionados com o seu sucesso em aprender. Em outras palavras, o padrão de leitura dos estudantes é uma informação relevante para explicar os resultados de aprendizagem. A técnica de rastreamento ocular tem sido largamente empregada para caracterizar a interação entre os sujeitos e a informação visual apresentada em telas, pois os dados de rastreamento ocular estão relacionados com o processamento cognitivo da informação. Por esse motivo, essa técnica tem chamado à atenção de vários pesquisadores que trabalham na área de cognição e planejamento instrucional (Rayner *et al.*, 2006; Amadiou *et al.*, 2009; Liu, 2014).

O rastreamento ocular utiliza uma tecnologia moderna que analisa o movimento dos olhos durante o processo de leitura ou observação de figuras ou vídeos (Rayner, 2006). Este método permite que, durante a interação com um conteúdo na tela do computador, as coordenadas de leitura sejam gravadas. A localização e o tempo de parada nessas coordenadas revelam onde o participante investiu maior foco e atenção. A Figura 03 ilustra como essas informações podem ser analisadas a partir da sequência de leitura e da identificação das regiões mais exploradas pelos sujeitos.

Figura 03: Informações obtidas durante a interação entre o sujeito e o conteúdo visual, destacando (a) Sequência de leitura representada por pontos coloridos. (b) Mapa de calor sobre as regiões com maior interação².



Fonte: Elaborada pelos autores.

A técnica utilizada pelo rastreador ocular é a Reflexão da Córnea no Centro da Pupila. Essa técnica não é invasiva, pois registra o movimento ocular à distância, de maneira integrada com o monitor e não interfere no processo de observação. O rastreador emite raios infravermelhos em direção aos olhos do usuário, causando padrões de reflexão na córnea e na pupila. A movimentação do olho redireciona a córnea, modificando esses padrões de reflexão. Então, uma câmera captura a imagem do olho, permitindo calcular com precisão para onde o usuário está olhando com base nos ângulos e distâncias. O *software* faz a junção dos dados obtidos pelo rastreador ocular com a imagem, texto ou vídeo estudado.

O rastreador ocular tem diversas aplicações, como por exemplo: no comércio, visto que ele identifica para onde uma pessoa está olhando, é possível tirar conclusões do que chama mais atenção do cliente, possibilitando entender melhor onde e como posicionar produtos em uma loja para vender mais ou até mesmo aprimorar a usabilidade de *websites* (Zalla, 2018).

² [Clique aqui para ver um vídeo sobre o rastreamento ocular.](#)

Na medicina, o rastreador ocular pode ser usado para monitorar o comportamento de pacientes e auxiliar no seu diagnóstico de doenças como Transtorno de Déficit de Atenção e Hiperatividade (TDAH), Transtorno do Espectro Autista (TEA), Transtorno Obsessivo-Compulsivo (TOC), Esquizofrenia, doença de Parkinson e Alzheimer (Marchezini; Claessens; Carthery-Goulart, 2022).

Já na área da educação, o seu uso vem crescendo significativamente e os estudos vêm mostrando que os dados gerados por um equipamento de rastreamento ocular possibilitam a compreensão específica de como as características dos materiais de estudos afetam o processo de visualização dos estudantes. Esses dados gerados complementam as informações usualmente obtidas com o pré-teste e o pós-teste, que registram o entendimento dos sujeitos antes e após a interação com o material de estudo, respectivamente (Rayner *et al.*, 2006; Amadiou *et al.*, 2009; Liu, 2014).

Dessa forma, os dados gerados por um equipamento de rastreamento ocular possibilitam a compreensão específica de como as propriedades gráficas dos materiais de estudo digitais afetam o comportamento de leitura do estudante. A localização e o tempo de parada nessas coordenadas revelam onde o participante investiu maior foco e atenção durante a exploração do material. Sendo assim, a utilização do rastreamento ocular para analisar a exploração de imagens utilizadas no ensino de ciências cria possibilidades interessantes de compreender como se dá a interação entre tais materiais de estudo e os estudantes.

1.4. Modelagem de Movimento Ocular

Para além da utilização do rastreamento ocular como forma de compreender a interação entre estudantes e os materiais de estudo, o rastreamento ocular também pode ser útil na elaboração de materiais de estudo mais eficazes, em especial para permitir que as figuras comuns ao ensino de ciências sejam utilizadas como ferramentas de aprendizagem potencialmente significativas.

A literatura aponta que os estudantes têm maior ganho de aprendizagem quando conseguem observar figuras da mesma forma como especialistas as observam, por conta disso, Jarodzka *et al.* (2013) desenvolveram a EMME (do inglês, *Eye movement modelling example*) com base no padrão de visualização dos especialistas.

O estudo da EMME tem despertado o interesse de pesquisadores da área de ensino que buscam por desenvolver materiais de estudo digitais. A EMME consiste na análise do padrão de leitura do professor (especialista no tema) para criar estímulos visuais baseados no padrão de leitura desse especialista. Essa sinalização, que pode ser feita com um círculo colorido na tela, é sobreposta ao material de estudo digital para direcionar o olhar dos não especialistas que desejam aprender sobre o tema.

Os estudantes possuem dois níveis de desenvolvimento: o real, que o permite resolver os problemas de forma autônoma, e o potencial, que é a capacidade de resolver problemas com a ajuda de outras pessoas. Entre os dois níveis, encontra-se a zona de desenvolvimento proximal (ZDP), onde, com a ajuda de alguém mais experiente, o indivíduo é capaz de chegar ao nível de desenvolvimento potencial. O conceito da ZDP, proposto por Vygostky (1978), é útil para compreender as diferenças entre professores e estudantes, pois o nível de entendimento sobre o tema de estudo é diferente entre esses indivíduos. Nesse sentido, a EMME atua na ZDP do estudante, pois faz uma mediação entre o conhecimento do professor e do estudante.

1.5. Qual é a oportunidade de pesquisa que nós identificamos?

Estudos apontam que estudantes que utilizam a EMME obtém melhores resultados de aprendizagem em relação aos que estudam utilizando materiais convencionais como imagens e vídeos (Mason; 2016, 2017; Jarodzka *et al.*, 2013). Entretanto, não há estudos na literatura que caracterizam a diferença entre o padrão visual dos especialistas, ou seja, existe uma impressão de que o olhar do especialista é sempre igual independente de quem seja o especialista.

Desta forma, esta dissertação teve como objetivo caracterizar de maneira qualitativa o comportamento visual de entrevistados que exploraram figuras sobre estações do ano, buscando melhores condições para a elaboração dos materiais de estudo com base no seu padrão de observação.

Duas perguntas de pesquisa nortearam o estudo:

- I. Quais são as diferenças entre a forma como especialistas e não especialista observam duas figuras sobre as estações do ano? E,
- II. Existem diferenças no comportamento visual de especialistas, de forma que isso impacte na elaboração do material de estudo?

A nossa hipótese é de que (I) os especialistas farão a observação das figuras enfatizando os pontos fundamentais para a compreensão do conteúdo e (II) eles apresentarão diferentes padrões de visualização e conseqüentemente, isso poderá impactar na elaboração da EMME.

Para tanto, a presente seção INTRODUÇÃO apresentou a necessidade da elaboração de materiais de estudos eficientes para o ensino de ciências. Essa seção aborda elementos acerca da relação do ensino de ciências com figuras e modelos, além de abordar o conceito de aprendizagem e de como certos assuntos podem representar hierarquias proposicionais limitadas ou inapropriadas, o que dificulta a aprendizagem. A seção também apresenta o rastreamento ocular como uma ferramenta útil no ensino de ciências e termina apontando a oportunidade de pesquisa observada. Além de trazer os OBJETIVOS desta dissertação, bem como as perguntas de pesquisa e as hipóteses de trabalho.

A segunda seção aponta o REFERENCIAL TEÓRICO e a articulação de conceitos presentes no conteúdo de estações do ano. A seção culmina na apresentação dos parâmetros de rastreamento ocular que estão vinculados ao processamento cognitivo.

A terceira seção aborda os PROCEDIMENTOS DE PESQUISA, apresentando o contexto da pesquisa e os métodos utilizados para coletar e analisar os dados.

A quarta seção apresenta os RESULTADOS, sendo eles: a caracterização de um não especialista e de dois especialistas, seus padrões de observação e, por fim, os mapas conceituais produzidos a partir das suas reflexões.

A quinta seção apresenta as CONSIDERAÇÕES FINAIS, retomando o objetivo, as perguntas e as hipóteses de trabalho. Bem como apresenta as limitações e estudos futuros. E, por fim, são apresentadas minhas considerações acerca do desenvolvimento da pesquisa e as atividades realizadas durante o período do mestrado. E, logo após, as REFERÊNCIAS.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Representando a articulação de conceitos em estações do ano

Uma maneira de entender as relações entre as ideias que são fornecidas pela análise de constelações pedagógicas, que faz parte da análise cosmológica da Teoria do Código de Legitimação (TCL), é que ela descreve qualquer conjunto de posturas (por exemplo, ideias, crenças, práticas etc.) de acordo com uma visão de mundo particular (Maton, 2014).

A TCL foi construída com base em duas teorias: a dos Códigos Pedagógicos de Bernstein e a dos Campos de Bourdieu, como forma de complementar as ferramentas de análise que se centravam nas relações presentes nas práticas pedagógicas.

Os estudos empíricos de Bernstein (1996) buscam compreender os diferentes princípios de transmissão e aquisição do discurso pedagógico. Em vista disso, sua teoria apresenta os conceitos de *código* como princípio regulativo que integra os significados relevantes às formas de realização e de evocação de contexto; de *enquadramento*, que descreve como as relações de poder e controle influenciam a gestão do processo de ensino e aprendizagem; e de *classificação*, que descreve como as relações de poder e controle interferem na relação entre o transmissor e o receptor (Bernstein, 1996). Com a definição de discurso vertical (relacionado ao conteúdo científico) e horizontal (relacionado ao senso comum), são determinadas as bases que constroem a TCL, por meio de suas variações, as quais fortalecem ou enfraquecem as relações entre os agentes do campo educacional.

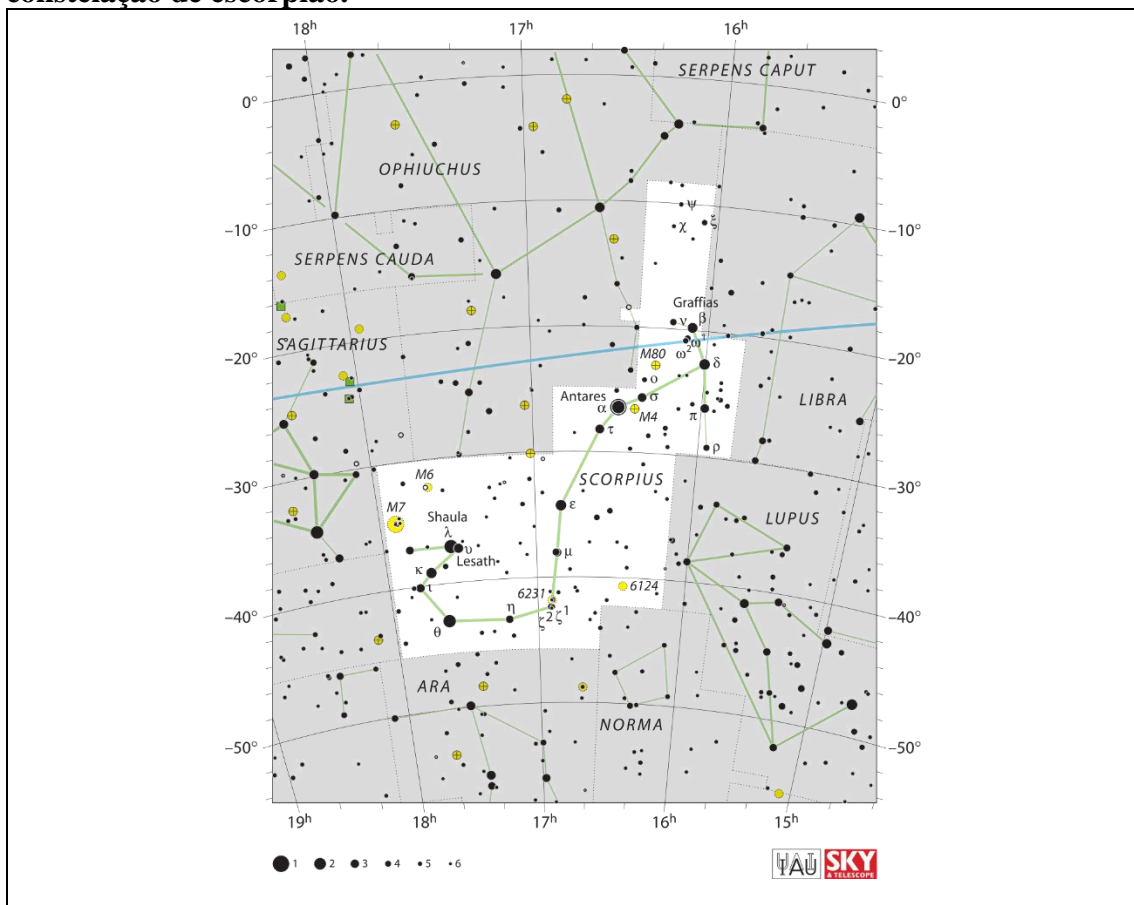
Quanto à fundamentação de Bourdieu, relacionada à teoria dos Campos, o autor apresenta conceitos em relação à disposição dos agentes, às posições que eles ocupam no sistema em desenvolvimento em que estão imersos no modo como isso interfere nas práticas (Maton; Doran, 2021). As estruturas sociológicas presentes na TCL podem permitir análises mais amplas, no sentido de compreender como o conhecimento circula e como é legitimado em sala de aula, de acordo com diferentes dimensões de análise.

A TCL, como ferramenta sociológica, tem como objetivo verificar, por meio de uma análise multidimensional, a prática e os princípios de organização presentes no campo educacional, possibilitando assim, compreender de uma forma mais ampla os aspectos ligados ao processo de ensino e aprendizagem.

A ideia de constelações pedagógicas surgiu como uma analogia à astronomia (Doran, 2020). Na astronomia, as constelações são agrupamentos de estrelas ligadas por linhas imaginárias usadas para representar objetos, animais ou criaturas mitológicas. O conceito de constelação surgiu durante a Pré-História, quando as pessoas as usavam para descrever suas crenças ou mitologia. Por isso, diferentes civilizações adotaram, ao longo da história, as suas próprias constelações.

Na Figura 04 é demonstrado algumas das estrelas visíveis em uma pequena parte do céu no hemisfério sul. Dessas estrelas, um pequeno número foi selecionado e organizado em um padrão que é a constelação de Escorpião. Além de serem organizadas em constelações, para algumas pessoas, as estrelas possuem significado. Por exemplo, desde os antigos mesopotâmios, a constelação de Escorpião tem sido associada com a imagem do animal escorpião. Esses significados são carregados positivamente ou negativamente, em graus variados. Dessa forma, as constelações refletem diferenças na cosmologia, ou seja, na visão de mundo dos indivíduos.

Figura 04: Representação do plano celeste com ênfase nas estrelas que formam a constelação de escorpião.



Fonte: IAU (2014).

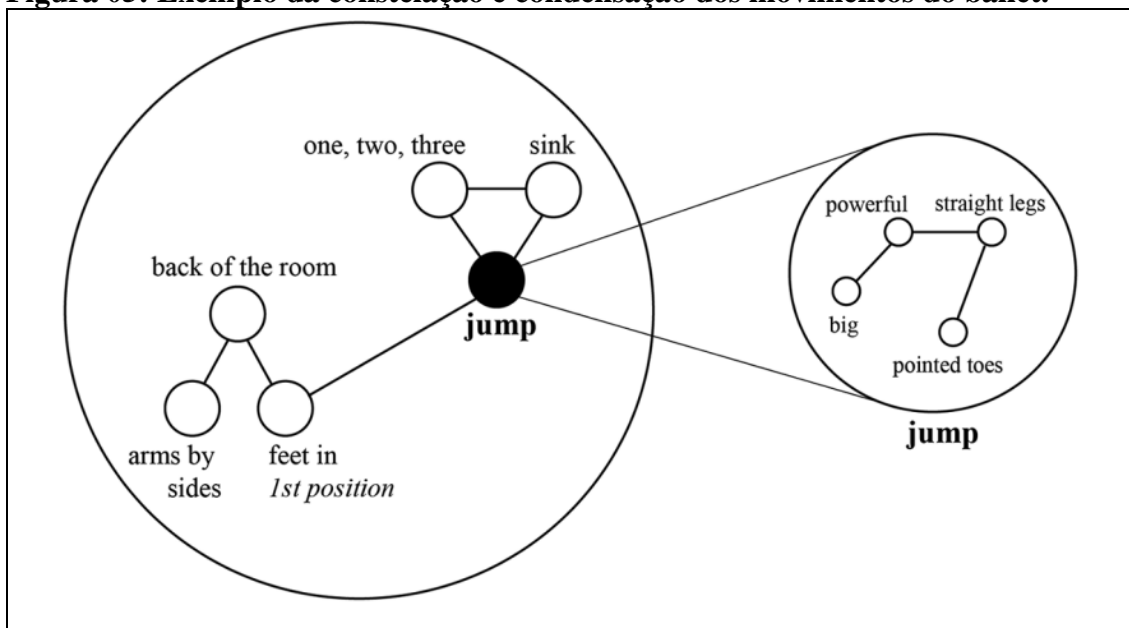
Refletindo sua natureza sociológica, a TCL sustenta que uma constelação tem coerência de um ponto particular no espaço e tempo social, para atores com uma cosmologia particular, e que cosmologias (e assim constelações) estão sujeitas a contestação, variam entre contextos e mudam ao longo do tempo (Maton, 2014).

Em termos práticos, a constelação que está sendo analisada pode ser uma teoria científica, religião, sistema político, ideologia, esporte, dança, música, entre outros. Seus nós podem ser ideias, crenças, instituições, movimentos corporais, sons, peças de máquinas e outros. Da mesma forma, a análise pode se concentrar em muitas questões diferentes sobre essas constelações, usando diferentes conceitos cosmológicos.

Por exemplo, Glenn (2016) analisa as crenças sobre as mudanças climáticas, mostrando como diferentes grupos de pessoas constelam juntas ideias diferentes e carregam essas ideias de formas diferentes. Ele constatou que dependendo da forma como as pessoas constelam as ideias, elas estão mais ou menos abertas a evidências científicas a respeito das mudanças climáticas.

Outra maneira de usar a análise de constelações é explorar como as posturas são selecionadas, vinculadas e recebem significados ao longo do tempo para construir práticas. Por exemplo, Lambrinos (2020) revela como os professores de *ballet* reúnem conjuntos de comportamentos, disposições e movimentos para ensinar tanto a dançar como a ser bailarino. A Figura 05, por exemplo, ilustra como um professor de *ballet* ensina um exercício ligando a instrução “salto” com outras instruções (“afundar”, “pés na 1ª posição”, etc.), onde “salto” (em preto, na Figura 05) foi condensado com significados (“poderoso”, “pernas retas”, etc.). Desta forma, Lambrinos (2020) demonstra como palavras, gestos e movimentos são reunidos para criar constelações complexas.

Figura 05: Exemplo da constelação e condensação dos movimentos do ballet.



Fonte: Retirado de Lambrinos (2020).

Tal análise pode nos mostrar como *clusters* ou mesmo constelações inteiras são condensadas em um novo nó, que pode então ser constelado com mais nós.

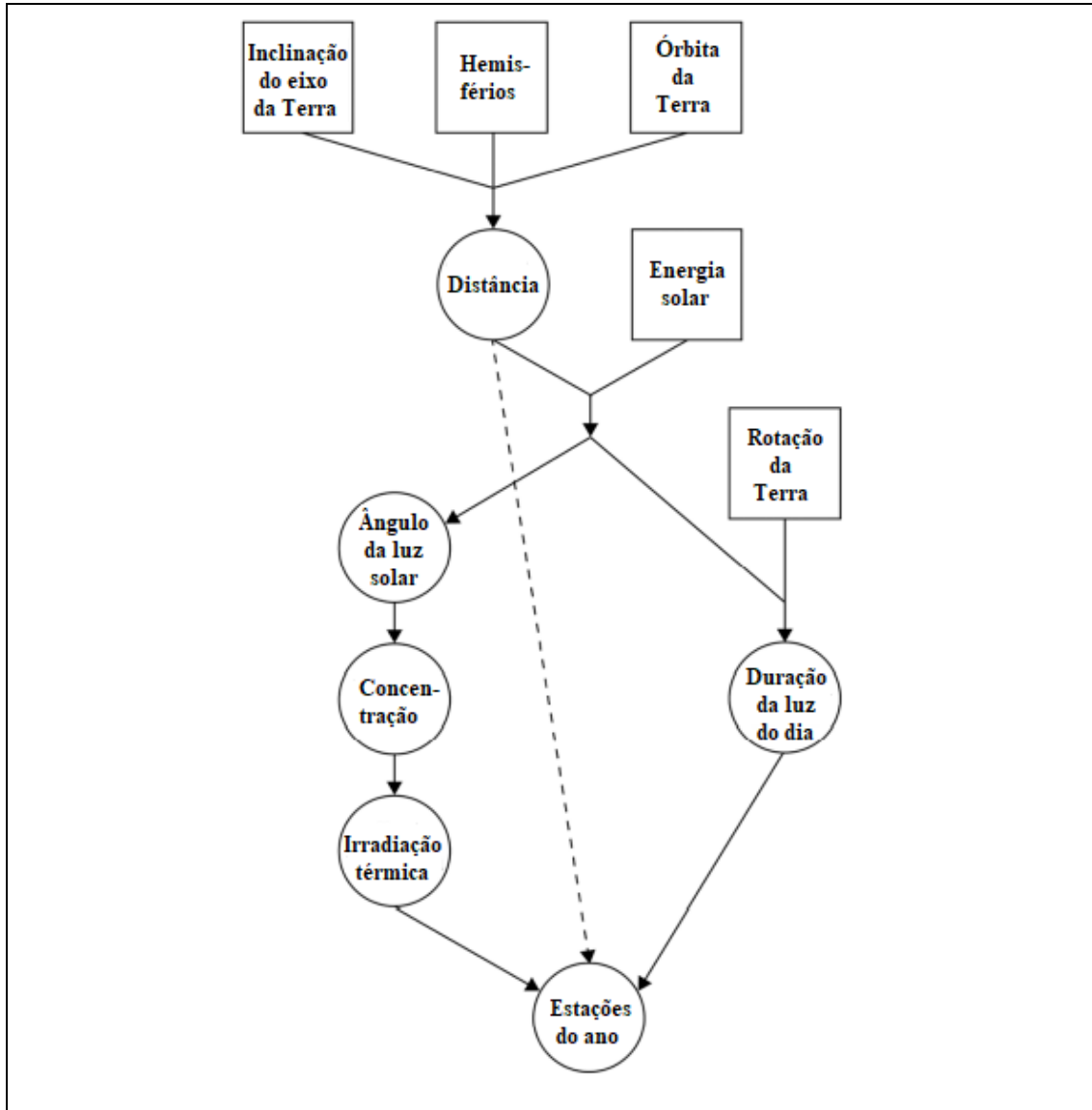
Maton e Doran (2021) realizaram várias distinções conceituais e uma série de análises das explicações científicas envolvendo marés e estações do ano, com foco na disciplina de Ciências para o 7º ano em uma escola na Austrália. Foram realizadas análises dos livros didáticos utilizados para o ensino desses conteúdos e foram examinadas as relações lógicas entre as ideias em cada explicação, além de como cada explicação é ensinada pelo professor. A partir das análises, os autores apontaram que as relações entre ideias na lógica das explicações podem afetar a forma como essas explicações são ensinadas na sala de aula.

Ambos os fenômenos parecem simples, em um primeiro momento: a água sobe e desce ao longo do dia (marés) e a temperatura sobe e desce ao longo do ano (estações do ano). No entanto, as explicações de marés e estações do ano envolvem constelações complexas de ideias reunidas de maneiras distintas. De forma que envolvem diferentes relações entre as ideias que podem ser significativas para a forma como são ensinadas.

Assim, Maton e Doran (2021) analisaram cada explicação, criando constelações esquemáticas da lógica de explicação de acordo com os livros didáticos (Figura 06). Os autores apontaram que os diagramas de constelação resultantes eram semelhantes a

mapas de trânsito que mostravam não viagens específicas, mas sim as estradas, estações, conexões, rotas, etc.

Figura 06: Constelação esquemática para o ensino de estações do ano feita a partir da análise de livros didáticos.



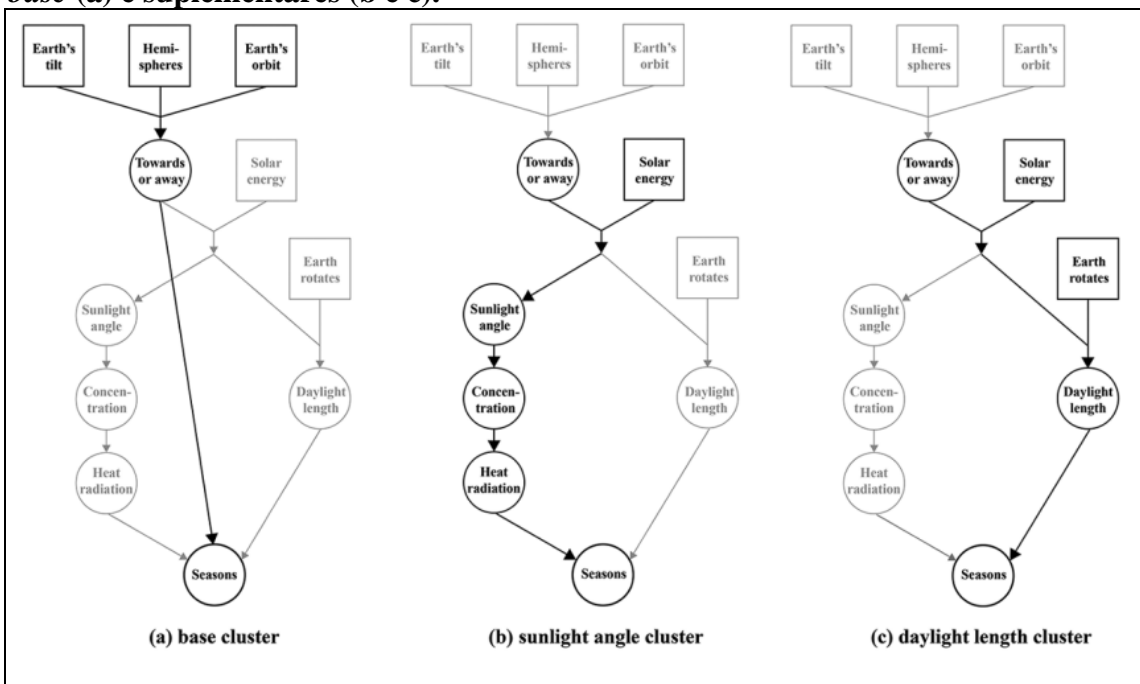
Fonte: Retirado de Maton e Doran (2021).

Em um segundo momento, eles criaram constelações pedagógicas mostrando como cada explicação era ensinada pelo professor durante a aula de ciências. Nessa etapa do estudo, o foco foi explorar se a lógica pode moldar o pedagógico, isto é, se a relação entre as ideias na lógica de uma explicação pode afetar como essa explicação é ensinada. Essas constelações pedagógicas descrevem viagens através do terreno mostrado pelas constelações esquemáticas (Maton; Doran, 2021).

Os autores assumiram que a análise não oferece uma descrição abrangente de como as marés e estações são explicadas na escolaridade, pois as constelações geralmente variam de tempo e espaço. Em outros contextos, diferentes explicações podem incluir mais ou menos *nós* e *links* diferentes, portanto a análise é limitada aos exemplos empíricos disponíveis.

Considerando a análise da constelação envolvendo o fenômeno de estações do ano, os autores estabeleceram que a constelação esquemática começa com três nós independentes que descrevem a inclinação, os hemisférios e a órbita da Terra. Esses nós são reunidos para descreverem suas implicações para os hemisférios apontando para o Sol ou para longe dele, gerando ligações dependentes com todos os três. A partir desse ponto, pode-se prosseguir diretamente às implicações para as variações de temperatura nos hemisférios ao longo do ano, atingindo o conceito de estações do ano através de um elo dependente (o conceito de distância). Conforme mostrado na Figura 07 (a), isso representa um *cluster base*.

Figura 07: Constelações esquemáticas para o ensino de estações do ano – *cluster base* (a) e suplementares (b e c).



Fonte: Retirado de Maton e Doran (2021).

Neste estudo a preocupação dos autores não foi avaliar o ensino de estações do ano, mas sim explorar o que o ensino pode dizer sobre as relações entre as ideias. Por exemplo, explicar o fenômeno das estações do ano oferece uma variedade de constelações pedagógicas em potencial. Durante uma aula de uma hora, a professora

pode levar a turma em quatro rotas diferentes, focadas em “duração da luz do dia”, “ângulo da luz solar”, o “grupo de base” (no qual ela verifica a compreensão dos estudantes) e uma composição de todos os três. Isso envolve o que o autor chama de agregação: agrupamentos separados são montados, cada um por conta própria, antes de serem combinados.

Além disso, essa agregação envolve opções de nós: alguns nós da constelação esquemática não foram incluídos: concentração de luz solar, radiação de calor e rotação da Terra. Isso, porém, não é uma lacuna no ensino. A constelação esquemática não é uma lista de ideias essenciais, mas sim um composto de todos os nós encontrados nos livros que foram analisados pelos autores, de forma que nem todos os livros incluem todos esses nós. Pois, de certa forma existem razões pedagógicas para empregar certo nível de complexidade e não adicionar mais nós que podem complicar demais a explicação e assim prejudicar a aprendizagem.

A ciência é complexa e as relações entre as ideias são um aspecto dessa complexidade. As relações entre as ideias em uma explicação podem afetar como essas explicações são ensinadas, sendo assim, a análise de constelações lança luz à dificuldade acerca do fenômeno de estações do ano, em especial se considerarmos que cada nó pode se desdobrar em uma nova constelação.

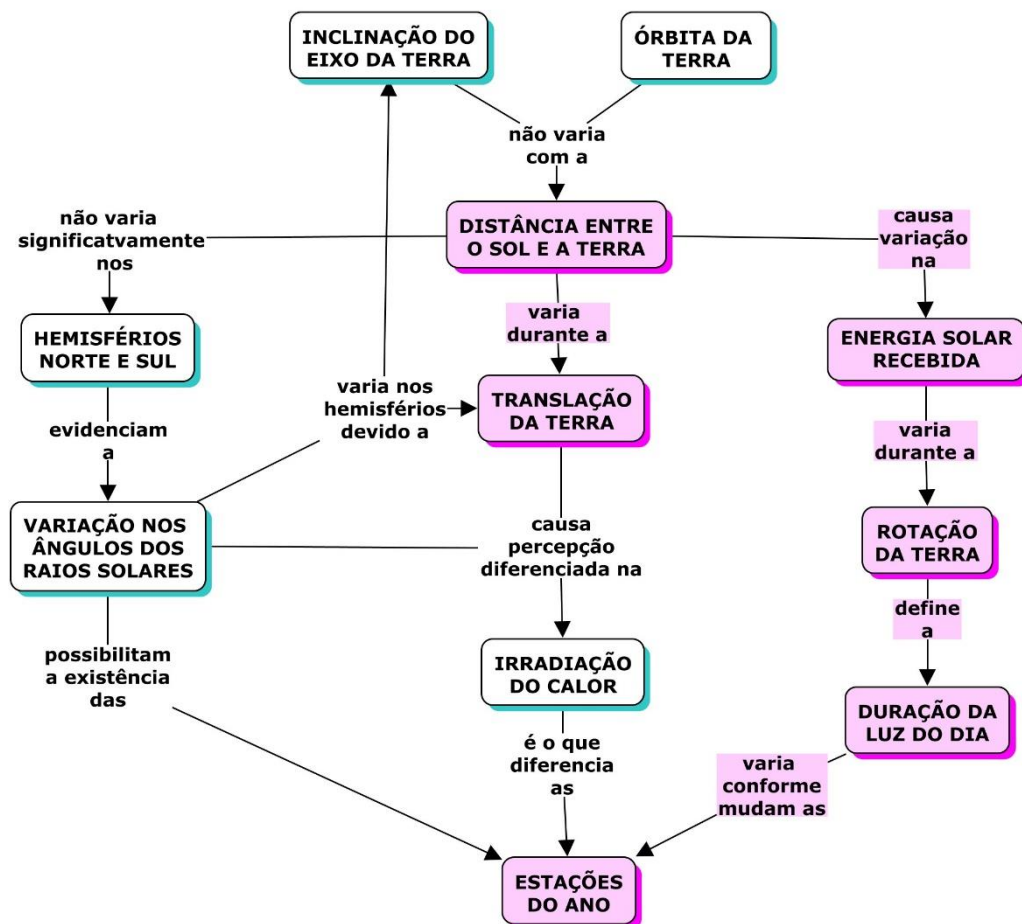
Para expressar melhor essa complexidade, elaboramos um mapa conceitual (MC) (Figura 08) com base no estudo de Maton e Duran (2021) e na constelação representada por eles. A principal diferença entre a esquematização do conteúdo na forma de mapas conceituais e na forma de constelações é que os MC são organizadores gráficos que explicitam a relação entre os conceitos por meio de um termo de ligação e não apenas com um traço ou uma seta.

O mapeamento conceitual foi proposto por Joseph Novak na década de 70 (Novak, 2010) e possui uma forte vinculação com a Teoria da Assimilação através da Aprendizagem e da Retenção Significativa, proposta por David Ausubel (Ausubel, 2000). As proposições (conceito inicial — termo de ligação → conceito final) diferenciam os MC de outros diagramas similares, tais como os mapas mentais (MM) e os mapas de argumentos (MA) (Davies, 2011). Elas obrigam à externalização das relações conceituais, que devem ser explicadas da forma mais clara possível através do uso de termos de ligação e, por isso, ajudam no compartilhamento de ideias e informações entre professores e estudantes.

O segmento do MC destacado na cor rosa (Figura 08) enfatiza as concepções alternativas dentro do conteúdo de estações do ano. “A distância entre o Sol e a Terra causa variação na energia solar recebida” e “A distância entre o Sol e a Terra varia durante a translação da Terra” são proposições conceitualmente corretas, porém elas estão relacionadas à concepções alternativas pois há uma desfragmentação lógica quanto aos hemisférios sul e norte, e o fato de que ambos estão posicionados à mesma distância relativa do Sol. Dessa forma, ainda que a translação da Terra ao redor do Sol seja uma elipse, e não uma circunferência (o que pressupõe que a distância entre a Terra e o Sol não é a mesma durante todos os meses do ano), isso não influencia nas estações, se fosse assim, teríamos um aquecimento proporcional nos dois hemisférios, visto que todo o planeta está mais próximo do Sol em uma determinada época do ano.

Figura 08: Mapa conceitual sobre estações do ano feito com base na constelação elaborada por Maton e Duran (2021).

PERGUNTA FOCAL: COMO O CONCEITO DE ESTAÇÕES DO ANO É APRESENTADO NOS LIVROS DIDÁTICOS?



Fonte: Elaborada pelos autores. Adaptada de Maton e Duran (2021).

Outra concepção alternativa é a de que a rotação da Terra interfere nas estações do ano. A energia solar recebida varia durante a rotação da Terra, mas define apenas a duração do dia e da noite e não causa as estações do ano. No entanto, durante o inverno temos dias mais curtos e durante o verão temos dias mais longos, o que causa uma falsa sensação de que existe relação entre a rotação e as estações do ano. Todavia, esse fenômeno ocorre devido à inclinação do eixo da Terra. O fato de termos dias mais longos ou mais curtos está relacionado ao grau de latitude do país em questão. Quanto mais próximo ele estiver da região polar, maior vai ser a variação entre dia e noite, mas a duração do período de rotação continua o mesmo.

2.2. Rastreamento do olhar: parâmetros vinculados ao processamento cognitivo e a atenção

A técnica de rastreamento ocular tem sido largamente empregada para caracterizar a interação entre os sujeitos e a informação visual apresentada em telas. Além de evidenciar a diferença entre especialistas e não especialistas, os dados de rastreamento do olhar estão relacionados com o processamento cognitivo da informação.

A informação científica é frequentemente representada por meio de materiais visuais complexos, com muitas informações específicas a essa área do conhecimento. Imagens de exames médicos, vídeos sobre como os peixes se locomovem e figuras que representam etapas de processos cíclicos (como o ciclo da água) exemplificam a representação imagética de conteúdos científicos. A interpretação desses materiais depende dos conhecimentos prévios e da percepção do sujeito leitor. Por isso, as tarefas que envolvem o processamento desse tipo de informação são chamadas de perceptivas (Jarodzka *et al.*, 2013).

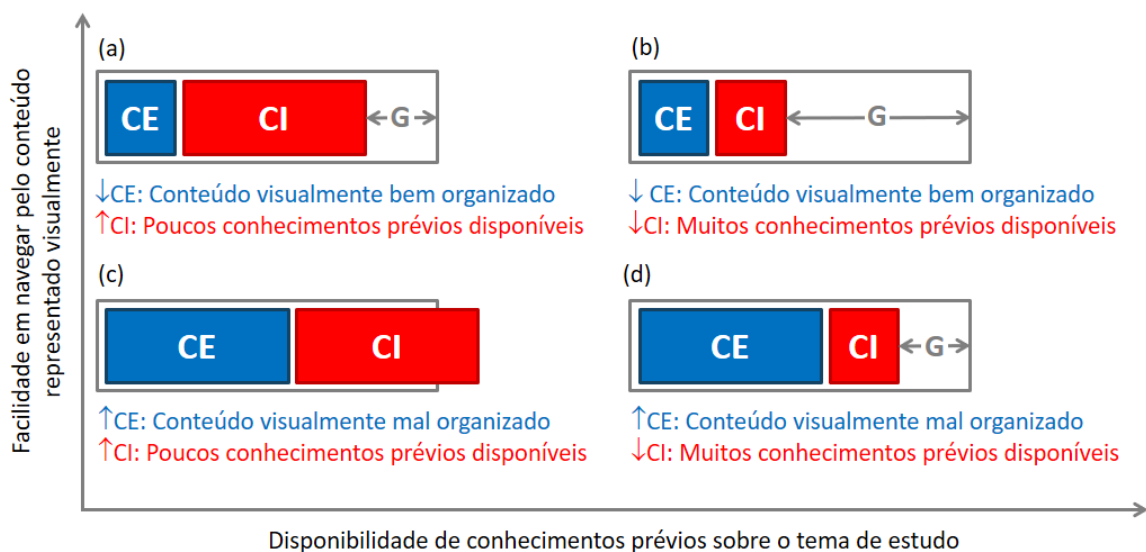
Os processos cognitivos relacionados à entrada perceptual da informação, sua organização na memória de trabalho e a posterior integração com o conhecimento já existente na memória de longo prazo se verificam nos eventos de aprendizagem. O estabelecimento de relações entre a informação do material de estudo e os conhecimentos prévios aumentam as chances de ocorrência da aprendizagem significativa. O planejamento desses materiais deve considerar o princípio da sinalização, segundo o qual a aprendizagem é facilitada quando uma marca visual

conduz o estudante (novato no assunto) no processo de leitura do conteúdo representado.

Esse princípio está relacionado com a Teoria da Carga Cognitiva (TCC), que estabelece que as informações recebidas sejam processadas por meio da memória de trabalho, que não consegue armazenar informações em grande quantidade e por um longo período. Por sua vez, a memória de longo prazo armazena todas as informações que uma pessoa possa ter aprendido. A aprendizagem significativa só ocorre quando conhecimentos prévios se combinam com novas informações, alterando os esquemas conceituais já existentes.

A memória de trabalho processa as tarefas de aprendizagem lidando com dois tipos diferentes de carga cognitiva (Merriënboer; Sweller, 2010). A carga intrínseca está relacionada com a natureza e a complexidade do conteúdo a ser aprendido (ele pode ser fácil ou difícil, por exemplo). A carga extrínseca está relacionada com o formato da tarefa de aprendizagem, que pode ser bem ou má elaborada. Conteúdos complexos associados a tarefas más elaboradas frequentemente consomem todos os recursos da memória de trabalho, levando à sobrecarga cognitiva, o que pode ser conferido na Figura 09(c). Nessa situação, a aprendizagem não ocorre porque não há recursos disponíveis para manipular e construir esquemas conceituais (Sweller; Ayres; Kalyuga, 2011).

Figura 09: A utilização dos recursos da memória de trabalho (representada pelos retângulos brancos) para lidar com as cargas intrínseca (CI) e extrínseca (CE) (representadas pelos retângulos vermelhos e azuis, respectivamente). Os recursos generativos (G), importantes para a aprendizagem, só estão disponíveis quando não há sobrecarga.



Fonte: Elaborada pelos autores.

A sobrecarga cognitiva é evitada quando:

- São apresentados conteúdos complexos em várias etapas, para reduzir a carga intrínseca das tarefas de aprendizagem (Figura 09d);
- São selecionadas tarefas compatíveis³ com a natureza do conhecimento a ser ensinado (Figura 09a); ou,
- Combinam-se os itens anteriores (Figura 09b).

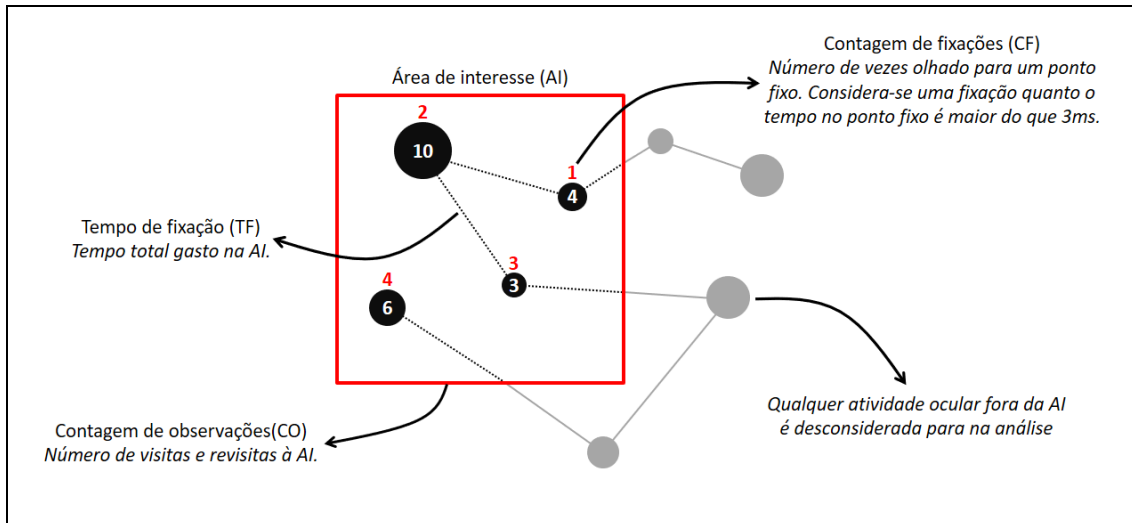
Recursos generativos ficam disponíveis na ausência da sobrecarga cognitiva, permitindo que os esquemas conceituais sejam manipulados e construídos. Por isso, a existência de recursos generativos é uma condição para a ocorrência da aprendizagem significativa. Dessa forma, refletir sobre a elaboração de materiais de estudos que sejam eficientes na diminuição da carga extrínseca é fundamental para o ensino.

O rastreamento ocular pode contribuir na elaboração destes materiais. A técnica de rastrear o olhar permite registrar e analisar o movimento dos olhos durante o processo de exploração de conteúdos representados visualmente tais como imagens, vídeos e textos. Informações valiosas são obtidas durante a interação do sujeito (e.g. estudantes ou professores) com o conteúdo apresentado na tela de um computador, pois as coordenadas de leitura são gravadas e armazenadas. A localização e o tempo de parada nessas coordenadas revelam onde o participante investiu maior foco e atenção durante a exploração do material, bem como inferir se o material causou desorientação. A utilização dessa técnica cria possibilidades interessantes ao aplicarmos o rastreamento do olhar para compreender como se dá a interação entre os materiais de estudos e os estudantes.

Quando processamos palavras visualmente, os olhos não se movem continuamente ao longo de uma linha de texto ou figura, mas fazem movimentos rápidos curtos (sacadas) intercalados com paradas curtas (fixações) e movimentos dirigidos para trás (regressões). As análises de medidas de rastreamento ocular são realizadas considerando o tempo e contagem de fixação, além da contagem de observação do participante dentro de uma área de interesse no material, como exemplificado na Figura 10.

³ Ensinar figuras geométricas com imagens é melhor do que utilizando somente descrições textuais (imagine o trabalho que dá descrever textualmente os vários tipos de triângulos existentes). O primeiro caso (com imagens) leva a tarefas com menor carga extrínseca. O segundo caso (com textos) produz tarefas com alta carga extrínseca.

Figura 10: Informações registradas durante o rastreamento do olhar numa área de interesse.



Fonte: Elaborada pelos autores.

O *software* utilizado em conjunto com o aparelho de rastreamento ocular permite explorar as seguintes variáveis para cada área de interesse (AI):

- Tempo de Fixações (TF) (expresso em segundos): É o tempo de observação gasto dentro de uma área de interesse e está relacionado com a manutenção da atenção e foco em uma mesma AI, ou seja, quanto maior o TF, mais atenção recebeu aquela determinada área;
- Contagem de Observações (CO): É a quantidade numérica de observações feitas em uma mesma AI. Uma observação é contada a cada vez que o participante retorna a AI, de forma que um número alto de CO implica que o participante tem dificuldade em manter o foco;
- Contagem de Fixações (CF): É a quantidade numérica de fixações feitas em uma mesma AI. Uma fixação é contada a cada três milissegundos que o participante mantém os olhos fixos em um mesmo ponto. Por esse motivo, é possível considerar que quanto maior CF, mais foco e atenção foi despendido em uma mesma AI.

Os dados gerados pelo equipamento de rastreamento ocular possibilitam a compreensão específica de como as características desses materiais afetam os processos de visualização dos estudantes. Esses dados gerados complementam as informações usualmente obtidas com o pré-teste e o pós-teste, que registram o entendimento dos sujeitos antes e após a interação com o material de estudo, respectivamente. As

informações do rastreamento valorizam o processo de interação entre o sujeito e o material visualizado.

O trabalho publicado por Liu *et al.* (2014) revela uma ligação consistente entre a fixação do olhar e a ocorrência de processos cognitivos. Além disso, o acompanhamento dos movimentos oculares durante o estudo podem fornecer dados valiosos sobre os processos de compreensão de leitura como mostra Rayner *et al.* (2006).

2.3. Como nós podemos explorar o rastreamento do olhar no ensino de ciências?

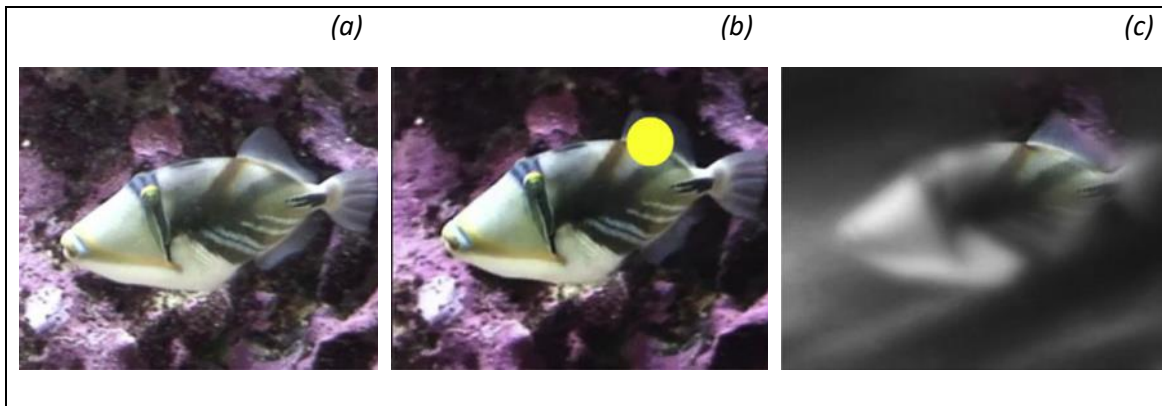
Como já foi descrito na sessão 1.3, a EMME consiste na análise do padrão de leitura do professor (especialista no tema) para criar estímulos visuais que facilitem a compreensão de imagens. Essa sinalização, que pode ser feita com um círculo colorido na tela, por exemplo, é sobreposta ao material de estudo digital para direcionar o olhar dos não especialistas que desejam aprender sobre o tema e, assim, minimizar a carga extrínseca relativa à própria observação e interpretação do material de estudo.

Nesta seção serão apresentados três estudos publicados por autores que são essenciais para a nossa pesquisa.

A locomoção dos peixes

Jarodzka *et al.* (2013) exploraram a EMME para destacar uma região especialmente importante para se compreender o padrão de locomoção de peixes (Figura 11). A modelagem, nesse caso, consistiu no *replay* de movimentos oculares de um especialista que haviam sido gravados enquanto ele executava a tarefa de observação do vídeo. Foram solicitados ao especialista que elaborasse verbalizações em relação à localização do seu olhar, tais explicações foram utilizadas posteriormente em conjunto com a informação visual obtida a partir do seu padrão de leitura.

Figura 11. Captura de tela dos exemplos de EMME para compreender o padrão de locomoção de peixes. As condições comparadas pelos autores envolveram (a) o uso de informações verbais durante o vídeo de um peixe nadando, (b) vídeo com sinalização usando ponto sólido e (c) vídeo sinalizado desfocando as regiões irrelevantes.



Fonte: Retirado de Jarodzka *et al.* (2013).

Neste estudo, os autores utilizaram três condições experimentais: uma sem sinalização (Figura 11a) e outras duas (Figuras 11b e 11c), com sinalizações diferentes para destacar o padrão de visualização do especialista. Os resultados mostraram que as condições modeladas por EMME (Figuras 11b e 11c) foram eficazes em orientar e direcionar a atenção dos estudantes durante a interação com o vídeo. Após a realização da tarefa perceptiva com EMME, os estudantes realizaram uma nova tarefa sem qualquer suporte. Os resultados de aprendizagem revelaram que estudantes que utilizaram EMME tiveram melhor desempenho na observação e interpretação das informações relevantes na nova tarefa do que os estudantes do grupo controle (Jarodzka *et al.*, 2013).

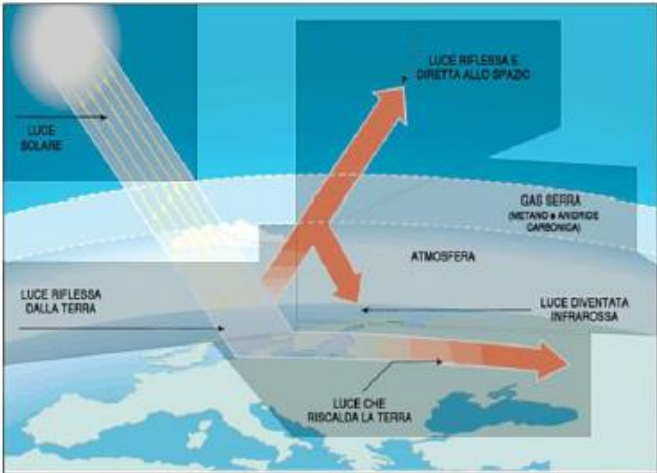
O efeito estufa

Mason, Pluchino e Tornatora (2016) investigaram a EMME no contexto escolar para avaliar o potencial educacional da tecnologia de rastreamento do olhar para estimular o processamento estratégico e a aprendizagem a partir de um texto ilustrado sobre o efeito estufa com estudantes do sétimo ano, como demonstrado na Figura 12.

Figura 12: Exemplo de material de estudo digital combinando imagem e texto sobre efeito estufa.

Scopriamo cos'è l'effetto serra. L'atmosfera terrestre funziona come i vetri di una serra. Qui, i raggi solari attraversano i pannelli di vetro e riscaldano il suolo. Il suolo, a sua volta, riflette (cioè rimette) parte delle radiazioni solari che, non potendo attraversare il vetro e uscire, riscaldano l'aria interna. Allo stesso modo, i raggi solari riscaldano la superficie terrestre che li riflette verso lo spazio. Tale radiazione viene in parte trattenuta dall'atmosfera grazie ad alcuni gas, detti gas serra (es. metano e anidride carbonica). Questi gas lasciano passare la radiazione solare quando entra nell'atmosfera, ma bloccano la stessa radiazione quando viene riflessa dalla Terra e si trasforma in infrarossa. I gas serra dell'atmosfera funzionano dunque come i vetri di una serra, che trattengono il calore. È grazie a questo effetto di riscaldamento che è possibile la vita sulla Terra.

Infatti, se non ci fosse l'effetto serra, la temperatura sarebbe così bassa da non permettere l'esistenza della vita stessa. Tuttavia, oggi si sta assistendo a un aumento della temperatura sul pianeta. Tale innalzamento è prevalentemente causato dall'uomo che, bruciando combustibili fossili (es. petrolio), rilascia nell'atmosfera una quantità di anidride carbonica e altri gas serra tale da aumentare lo stesso effetto serra. Il calore così intrappolato nella atmosfera, infatti, provoca il riscaldamento globale che tanto preoccupa perché porta a cambiamenti del clima.



Fonte: Retirado de Mason *et al.* (2016).

Os estudantes participantes da pesquisa foram designados aleatoriamente para as condições de execução da tarefa com e sem a EMME. A pesquisa teve como objetivo investigar se os estudantes da condição com EMME mostrariam maior processamento integrativo entre a leitura do texto e a observação da figura, e se esses estudantes conseguiriam compreender mais profundamente a informação contida no texto. Os resultados revelaram que os estudantes da condição com a EMME apresentaram maior facilidade de integração entre o conteúdo do texto e da imagem, resultando numa aprendizagem mais significativa conforme avaliado em uma tarefa de transferência de conhecimento realizada após o estudo desse material.

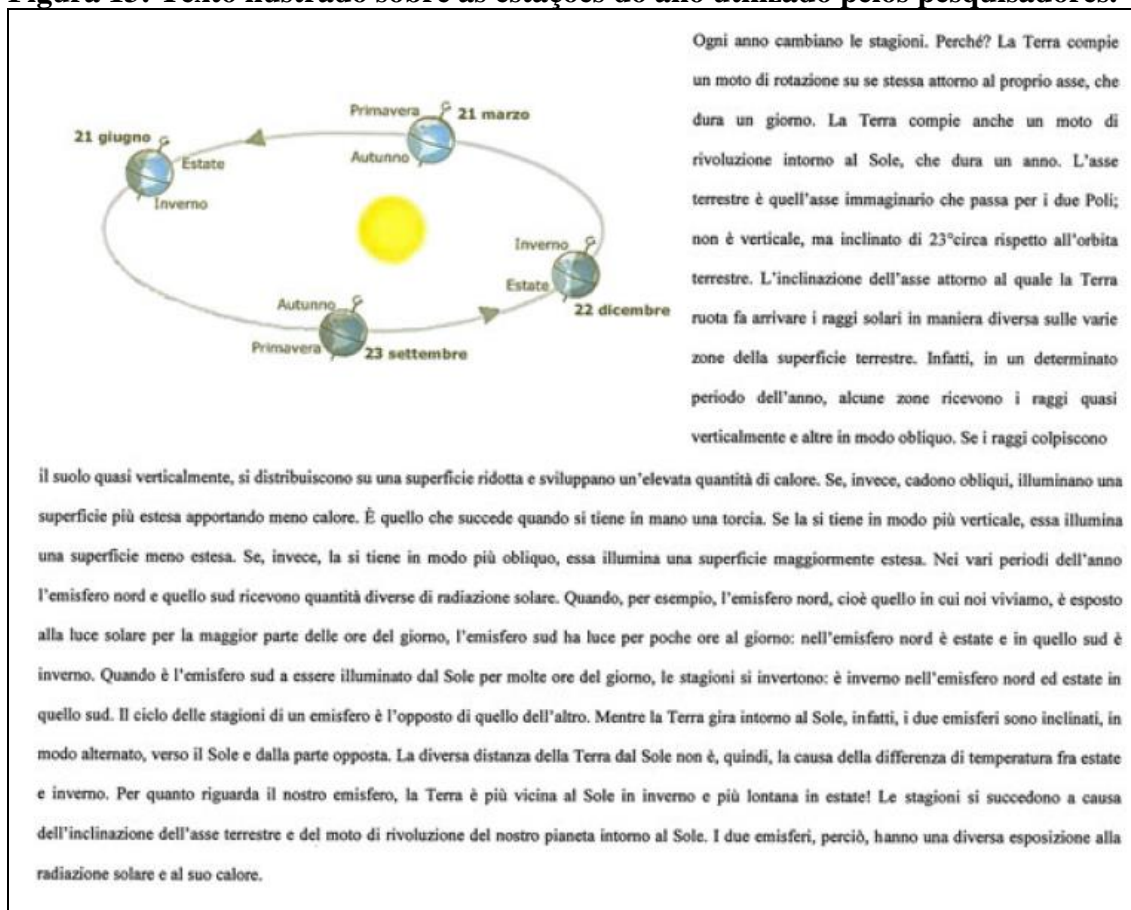
As estações do ano

Os mesmos autores realizaram um estudo posterior (Mason *et al.*, 2017) para investigar a utilização da EMME para apoiar o processamento integrativo de informações verbais e gráficas durante a leitura de um texto contendo ilustrações sobre

as estações do ano (Figura 13). A pesquisa foi realizada durante as aulas de Ciências com estudantes do sétimo ano. Os autores investigaram especificamente os efeitos da modelagem da sequência temporal de processamento de texto e imagem, a partir das seguintes condições experimentais:

- Sequência de processamento, observando primeiro o texto e depois a imagem (*text-first* EMME);
- Sequência de processamento, observando primeiro a imagem e depois o texto (*picture-first* EMME);
- Sequência de processamento, observando a imagem por último e em outra tela (*picture-last* EMME); e
- Sem-EMME (grupo controle).

Figura 13: Texto ilustrado sobre as estações do ano utilizado pelos pesquisadores.



Fonte: Retirado de Mason *et al.*, (2017).

Os resultados do movimento ocular indicaram que os estudantes que utilizaram a EMME em qualquer condição experimental apresentaram melhor desempenho do que aqueles que observaram a imagem sem sinalização (grupo controle). Além disso, os estudantes da primeira condição experimental (*text-first* EMME) gastaram significativamente mais tempo processando (i.e. obtiveram maior TF) a imagem e

mostraram maior integração entre as informações verbais e gráficas do que os estudantes do grupo controle.

Nesse estudo em especial, foi avisado ao especialista que seus dados de rastreamento de olhar seriam utilizados para sinalizar a tarefa e que precisavam ser didáticos. Os autores discutiram que isso resultou em tempo de fixação maior durante a sua leitura do material. Ele realizou uma observação sequencial da figura respeitando a ordem em que os eventos naturais acontecem nos hemisférios norte e sul (Mason *et al.*, 2017). Acreditamos que isso possa ter resultado em um material de estudo ainda mais eficaz do que aqueles que são feitos a partir da observação de especialistas não avisados sobre o caráter pedagógico da tarefa.

Em todos os estudos citados, estudantes das condições com EMME obtiveram melhores resultados de aprendizagem do que os do grupo controle, que receberam apenas a imagem convencional. Entretanto, não houve análises sobre o padrão de observação dos especialistas, tampouco uma discussão sobre a escolha dos especialistas para a elaboração da EMME. É possível supor que se trata do professor de Ciências que lecionava para os estudantes distribuídos nas diversas condições experimentais. No entanto, o questionamento sobre a caracterização desse especialista e a sua influência sobre a EMME ainda persiste, apesar dos resultados positivos obtidos com a utilização do material elaborado a partir do seu padrão de observação.

3. PROCEDIMENTOS DA PESQUISA

3.1. Contexto da pesquisa

Dois especialistas, professores da área de ciências naturais da Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo (EACH-USP) e um não especialista, graduado em educação física, participaram da coleta de dados.

O primeiro especialista é graduado em Geologia e possui mestrado e doutorado na área de Geociências pela Universidade de São Paulo. Atualmente é docente na EACH-USP onde realiza pesquisas na área da geodiversidade e patrimônio geológico, com enfoque nos estudos de impactos ambientais, na divulgação e preservação dos recursos naturais em áreas protegidas de uso público.

O segundo especialista entrevistado é graduado em Física e possui mestrado e doutorado em Astronomia. É docente na EACH-USP, onde realiza pesquisa em diversas áreas da Astronomia e Astrofísica, principalmente Astrofísica Estelar (atmosferas e envoltórios circumstelares), Meio Interestelar (nebulosas gasosas fotoionizadas, nuvens moleculares e masers), entre outras.

O não especialista é graduado em Educação Física e atua como professor de ginástica em diversas academias. Ele possui especialização em dança e aulas coletivas como pilates, *jump* e *spinning*. Durante a graduação ele não teve contato com conteúdos relacionados às estações do ano.

A coleta de dados ocorreu por meio de entrevistas individuais utilizando o rastreamento ocular. Todos os participantes conheceram o propósito da pesquisa, assinando o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE). A pesquisa foi aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) da EACH/USP (CAAE: 63837522.1.0000.5390; Parecer 5.742.966 de 07/11/2022).

3.2. Coleta de dados

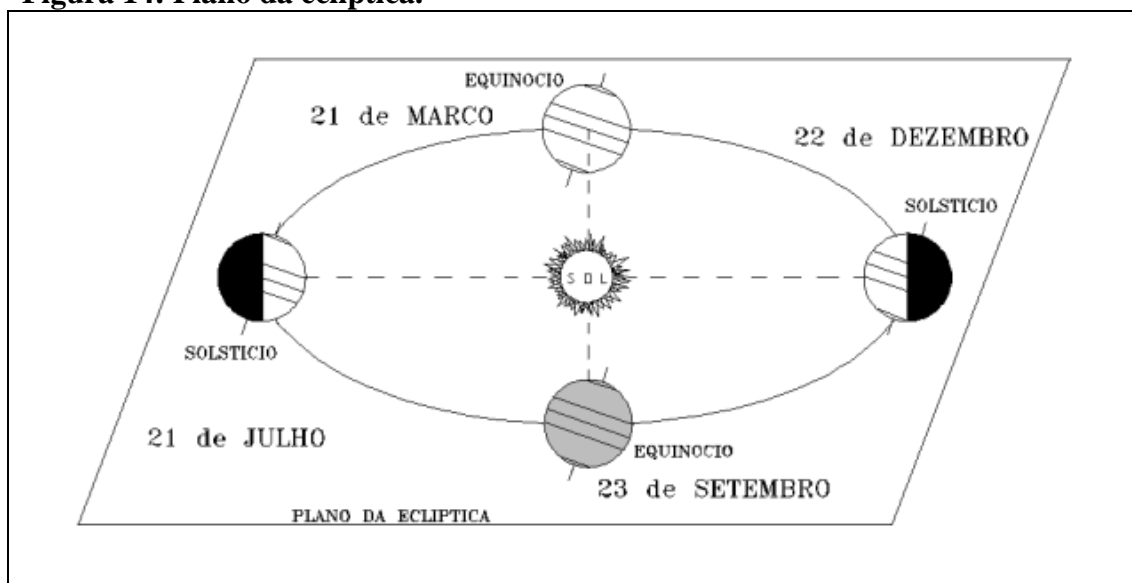
A coleta de dados contemplou a observação de duas imagens relacionadas às estações do ano. Uma delas representou o plano da órbita da Terra ao redor do Sol (Plano da eclíptica) (Figura 14). Já a segunda imagem apresentou a influência da inclinação do eixo da Terra na incidência de raios solares (Figura 15).

Durante a observação, foram coletadas medidas não invasivas dos movimentos dos olhos na área que compreende a tela do computador utilizando um equipamento de

rastreamento ocular. Enquanto observavam as imagens, os entrevistados expressaram em voz alta as suas reflexões sobre o material seguindo um protocolo de *think aloud* (Jackson, 2016). Esse protocolo consiste em solicitar a um indivíduo que pense em voz alta enquanto resolve uma tarefa ou problema. O protocolo de *think aloud* tem aplicações nos estudos sobre processos cognitivos em pesquisas na área da psicologia e da educação e, em muitos casos, é uma fonte única de informação sobre esses processos. No entanto, nesta dissertação, ele é utilizado como complemento aos dados de rastreamento ocular.

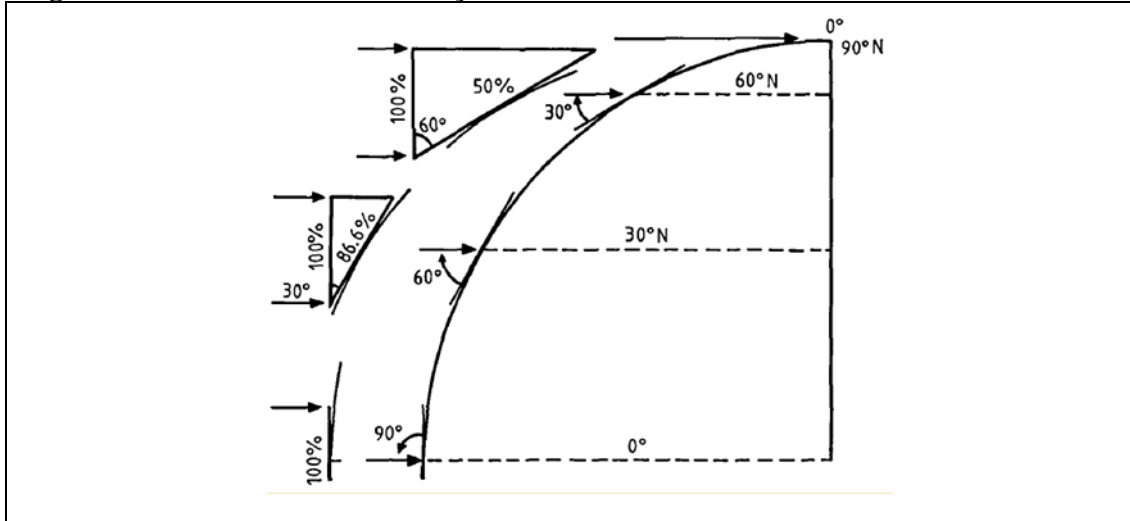
Uma única frase foi dita antes da entrevista para estimular a fala: “*Por favor, diga em voz alta o que você está pensando enquanto observa a tela do computador*”. Já era acordado entre os participantes da pesquisa que após cinco segundos de silêncio a frase seria repetida, no entanto isso não foi necessário em nenhuma das entrevistas realizadas.

Figura 14: Plano da eclíptica.



Fonte: Retirado de Grimm (1999).

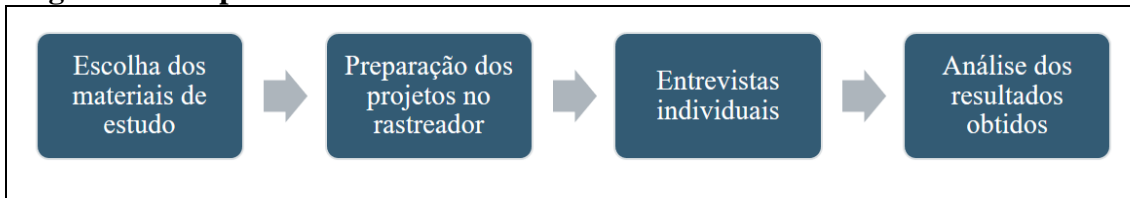
Figura 15: Influência da inclinação do eixo da Terra na incidência de raios solares.



Fonte: Retirado de Ojala (1992).

O padrão de observação dos entrevistados foi coletado na forma de vídeo com áudio e na forma das variáveis TF, CO e CF que já foram descritas na seção 2.3 desta dissertação. A Figura 16 apresenta as etapas de coleta de dados para o desenvolvimento do estudo.

Figura 16: Etapas de coleta de dados.



Fonte: Elaborada pelos autores.

3.3. Análise dos dados

3.3.1. Parâmetros de Rastreamento Ocular

Os dados foram analisados qualitativamente usando os vídeos e as variáveis geradas pelo rastreador ocular. As variáveis TF, CO e CF foram registradas pelo rastreador ocular e puderam ser acessadas por meio do *software* Mangold Vision, versão 3.5.2 (Mangold, Alemanha), que é específico para o equipamento utilizado na coleta.

Também analisamos o padrão de observação dos entrevistados, ou seja, o caminho que percorreram com o olhar ao longo da figura. Esse padrão de observação foi representado na forma de janelas de tempo dos primeiros minutos de observação, e um *link* para acessar o vídeo completo da observação foi disponibilizado. As variáveis

TF, CO e CF foram usadas para comparar o padrão visual dos especialistas e foram apresentadas em forma de tabela.

3.3.2. Caracterização dos especialistas utilizando mapas conceituais

Os Mapas conceituais (MC) foram desenvolvidos com base na verbalização dos pensamentos dos especialistas durante a entrevista. Para a elaboração, selecionamos conceitos mencionados mais de uma vez durante a observação da figura, mencionados por ambos especialistas ou considerados fundamentais para o ensino das estações do ano, de acordo com a análise das constelações de Maton e Duran (2021).

Após a listagem, identificamos padrões nos conceitos e os categorizamos em três setores representados pelas cores roxa, laranja e verde. Essas cores representam os conceitos gerais, específicos e relacionados ao ensino das estações do ano, respectivamente.

4. RESULTADOS

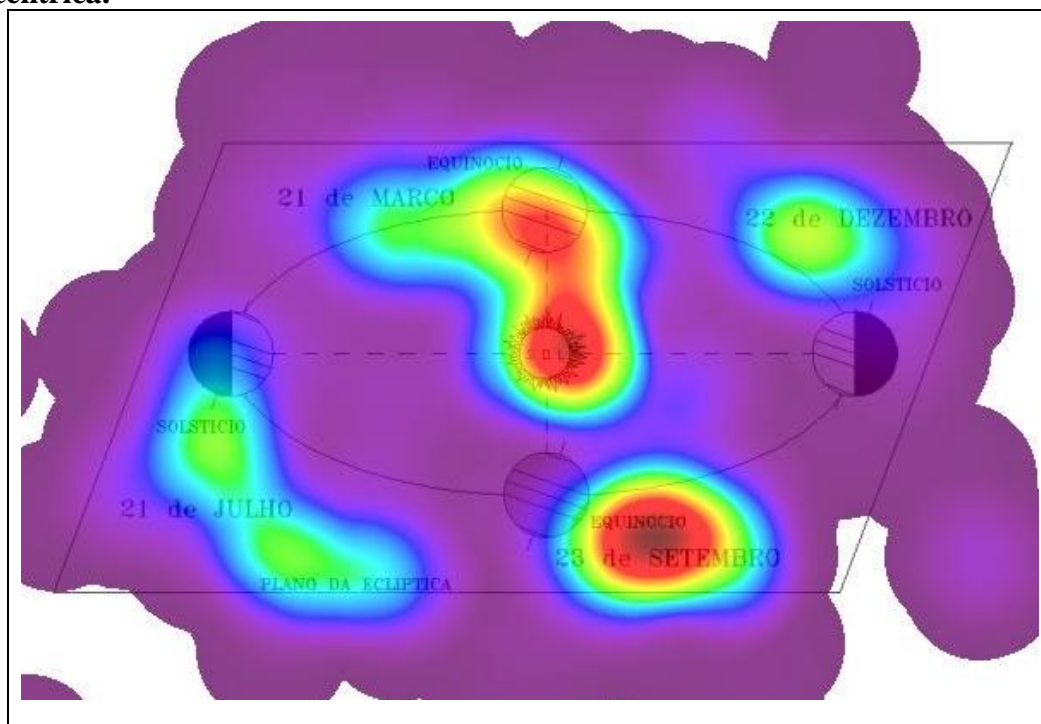
4.1. Caracterização do não especialista (NE)

4.1.1. Imagem I: O plano da eclíptica (perspectiva heliocêntrica)

Nesta seção, apresentaremos duas figuras relacionadas à observação da caracterização do Não Especialista (NE) na imagem do plano da eclíptica. A primeira figura é um mapa de calor gerado pelo *software* de rastreamento ocular (Figura 17), e a segunda são janelas de tempo criadas com base no gráfico *gaze-plot* extraído do *software* de rastreamento ocular (Figura 18).

A Figura 17 representa o gráfico de calor obtido durante o rastreamento do olhar do NE. As áreas em vermelho indicam onde o entrevistado concentrou mais seu foco e atenção. É possível observar que ele examinou toda a figura, mas dedicou maior foco e atenção à região do centro superior e inferior da figura, especificamente à representação do Sol e dos equinócios.

Figura 17: Mapa de calor considerando a exploração da imagem com a perspectiva heliocêntrica.



Fonte: Elaborada pelos autores

Foi solicitado que o entrevistado expressasse em voz alta seus pensamentos durante a observação da imagem seguindo o protocolo *think-aloud*.

A transcrição exata da sua fala foi:

Solstício, equinócio, solstício.

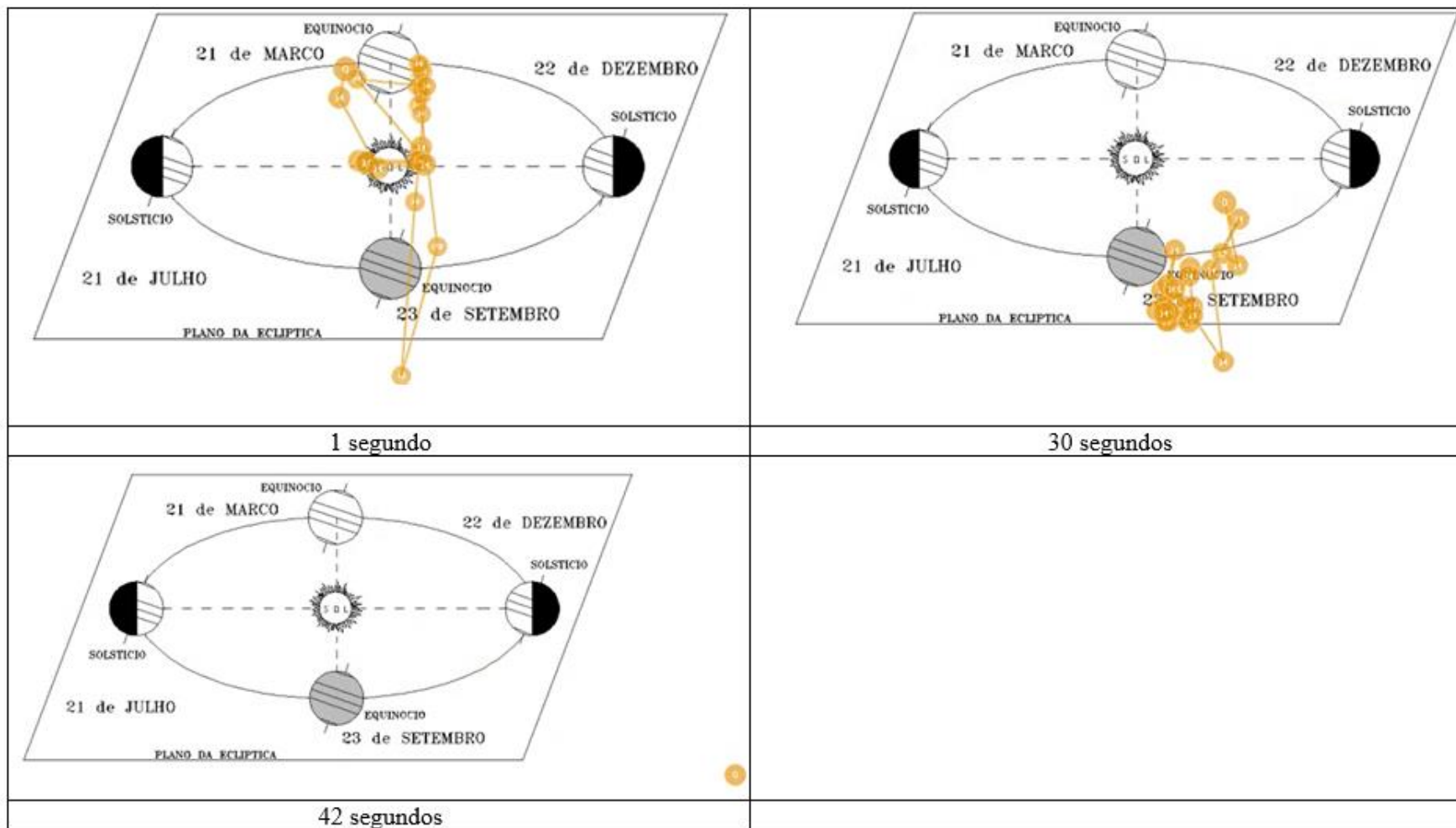
As datas do ano. 21 de março, 22 de dezembro, 23 de setembro, 21 de julho. E o plano da eclíptica. Bem, é isso.

Foi possível notar que o entrevistado fez uma descrição literal do que estava observando, sem a inclusão de informações adicionais ou reflexões sobre o fenômeno de estação do ano. É importante ressaltar que em nenhum momento foram feitas perguntas sobre o tema, pois o objetivo era investigar o comportamento visual do não especialista (NE) durante a observação da figura sem nenhum tipo de interferência ou de mediação.

A Figura 18 representa o padrão de observação do especialista com base no gráfico *gaze-plot* que foi extraído diretamente do *software* de rastreamento ocular. As figuras são fotografias de momentos (1 segundo, 30 segundos e 42 segundos). A duração total da observação do entrevistado na tela do computador foi de 42 segundos,

porém a duração da observação dentro da área de interesse foi de 40,08 segundos. O vídeo com o padrão de observação completo do NE pode ser assistido clicando [aqui](#). O vídeo permite observar com precisão os caminhos escolhidos para observação da figura.

Figura 18: A rota de observação do NE.



Fonte: Elaborada pelos autores.

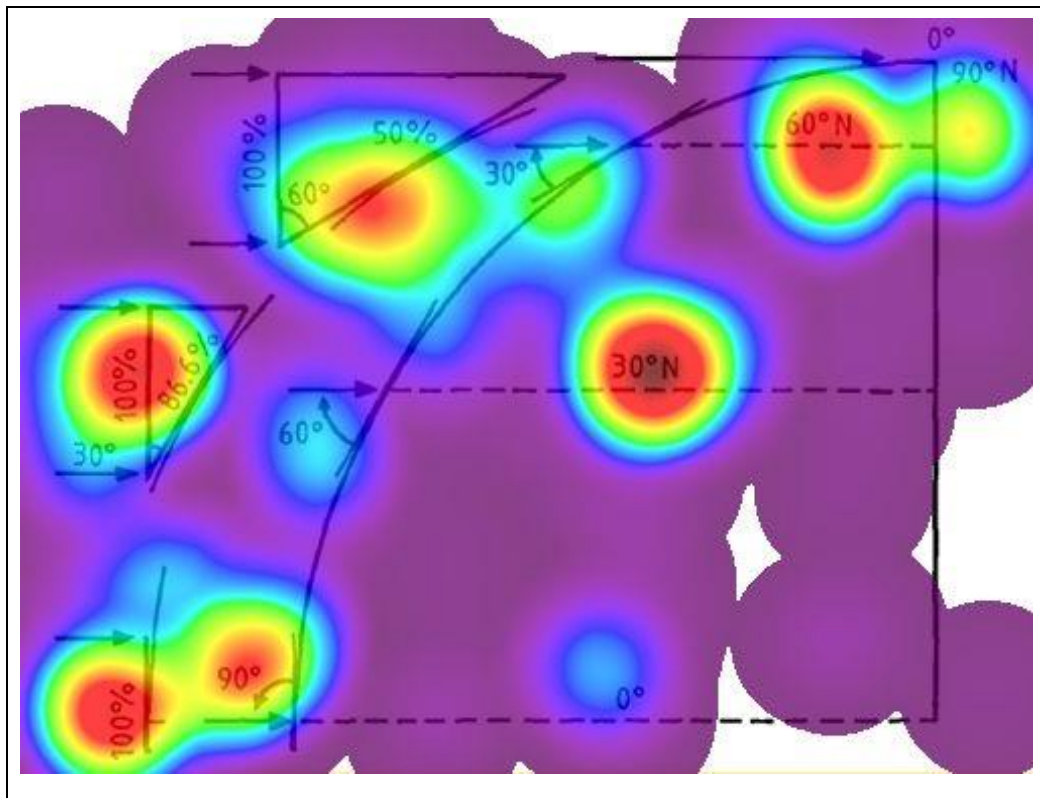
4.1.2. Imagem II: A inclinação do eixo da Terra e os raios solares (perspectiva geocêntrica)

A Figura 19 é referente ao gráfico de calor obtido durante a observação da imagem com perspectiva geocêntrica. As áreas em vermelho indicam o local onde NE teve maior foco e atenção. É possível observar que ele despendeu maior foco e atenção nas regiões da imagem que ofereciam valores, como a região mais centralizada e os paralelos de latitude.

A transcrição exata da sua fala durante a observação da imagem com perspectiva geocêntrica foi:

‘Tá’, eu vejo um monte de coisa que eu não sei o que é (risos). Um monte de ângulos... Eu não faço a menor ideia do que seja isso mesmo. É a hipotenusa, sei lá.

Figura 19: Mapa de calor considerando a exploração da imagem com a perspectiva geocêntrica.

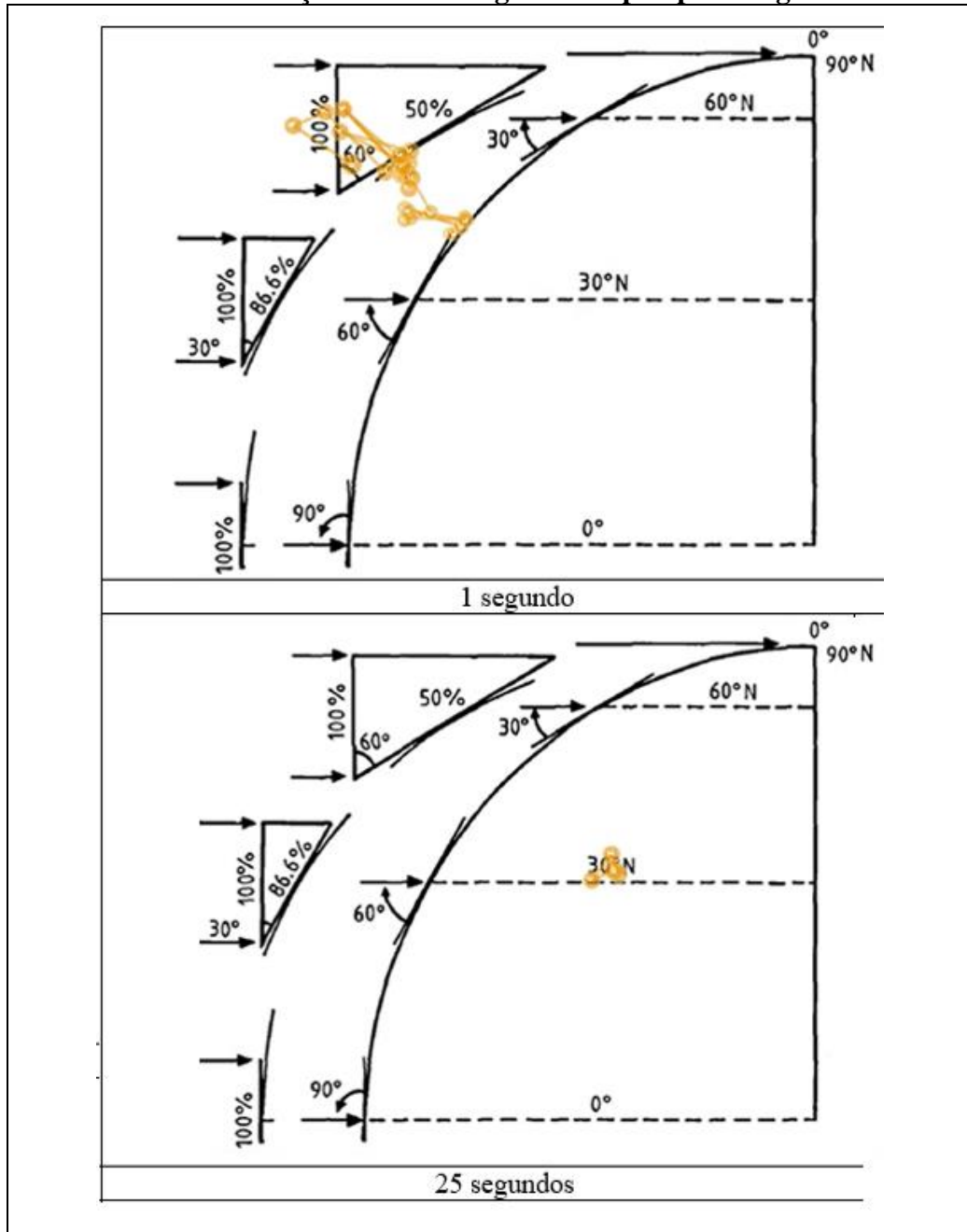


Fonte: Elaborada pelos autores.

A Figura 20 representa o padrão de observação do especialista com base no gráfico *gaze-plot* que foi extraído diretamente do *software* de rastreamento ocular. Novamente, as figuras são fotografias dos momentos (1 segundo e 25 segundos). A

duração total da observação do entrevistado na tela do computador foi de 25,31 segundos, porém a duração da observação dentro da área de interesse foi de 25 segundos. O vídeo com o padrão de observação completo do NE pode ser assistido clicando [aqui](#). O vídeo permite observar com precisão os caminhos escolhidos para observação da figura.

Figura 20: A rota de observação do NE na figura com perspectiva geocêntrica.



Fonte: Elaborada pelos autores.

Os dados de rastreamento ocular, bem como o *think aloud* permitem inferir que a falta de conhecimento do NE o levou à desistência da observação da imagem. É uma situação onde, provavelmente, o entrevistado entrou em sobrecarga cognitiva. Não havia mediação, apenas a figura e seus conhecimentos prévios que, dentro dessa área, eram possivelmente limitados.

4.2. Caracterização do especialista com formação em geologia (EG)

4.2.1. Imagem I: O plano da eclíptica (perspectiva heliocêntrica)

Nesta sessão serão apresentadas duas figuras referentes à observação do especialista na imagem do plano da eclíptica. A primeira trata-se do mapa de calor gerado pelo *software* do rastreamento ocular (Figura 21), a segunda trata-se de janelas de tempo feitas com base no gráfico *gaze-plot* extraído do *software* de rastreamento ocular (Figura 22).

Mapa de calor

A Figura 21 é referente ao gráfico de calor obtido durante o rastreamento do olhar do especialista com formação em geologia (EG). As áreas em vermelho indicam o local onde o especialista teve maior foco e atenção. É possível observar que ele despendeu maior foco e atenção nas regiões centrais inferiores da imagem.

Foi solicitado que o especialista expressasse em voz alta seus pensamentos durante a observação da imagem seguindo um protocolo *think-aloud*. Isso permitiu acessar, além do comportamento do especialista, o que ele pensava enquanto fazia a observação.

A transcrição exata da sua fala é:

Muito bom!

21 de março, 22 de dezembro, 23 de setembro, 21 de julho. Estações do ano. Perfeitamente.

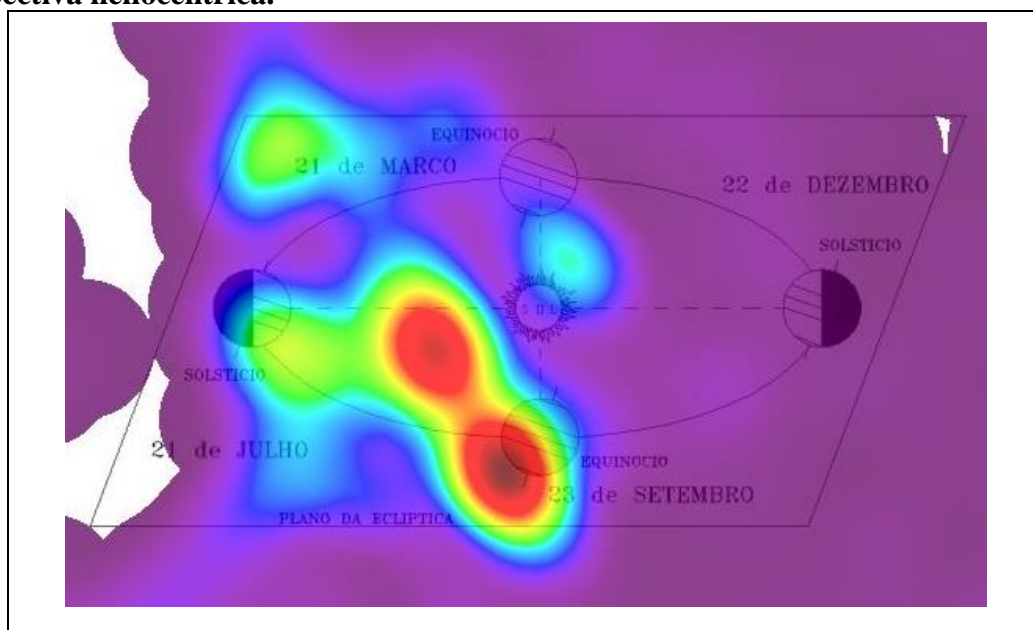
Que mais eu vejo aqui?

A maravilhosa estrela no meio, “el Rei, el Sol”, algumas sombras, obviamente representando - como chama isso a... - a inclinação do eixo da Terra. Que provavelmente, conforme alguns pesquisadores isso teria uma influência razoável para que exista essa mudança de temperatura ao longo do ano.

Eu como geólogo não acredito muito nisso. Eu acho que isso se trata de um artifício criado pelo homem porque no fundo no fundo o que a gente tem são dois extremos: o muito frio e o muito quente. O intervalo entre o muito frio e o muito quente, de um lado para o frio seria a primavera, e do outro lado, o intervalo entre o muito frio e o muito quente indo para o inverno, seria o outono.

Então a própria Terra, a natureza em si, eu acredito que já prepara o ser humano de maneira que a gente possa ter uma transição entre esses dois extremos de temperatura de muito quente para muito frio. Se nós olharmos isso no passado, na era paleolítica, em que a gente não tinha nem conhecimento de se quer um número, talvez não seja tão claro quanto hoje em dia. Então pesquisas foram feitas sobre isso e no final começaram a separar em quatro estações. Vivaldi. Acabei.

Figura 21: Mapa de calor do EG considerando a exploração da imagem com a perspectiva heliocêntrica.



Fonte: Elaborada pelos autores.

Janelas de tempo

A Figura 22 representa a rota de observação do especialista com base no gráfico *gaze-plot* que foi extraído diretamente do *software* de rastreamento ocular. As figuras são fotografias dos momentos (1 segundo, 30 segundos, 60 segundos e 1 minuto e 30 segundos). A duração total da observação do especialista na tela do computador foi de 2

minutos e 7 segundos, porém a duração da observação dentro da área de interesse foi de 66,1 segundos. O vídeo com a rota de observação completa do especialista pode ser assistido clicando [aqui](#). O vídeo permite observar com precisão os caminhos escolhidos para observação da figura.

Para Liu (2014) existe um padrão de observação comum aos nativos ocidentais, onde o início da observação ocorre de cima para baixo e da esquerda para a direita. No caso de EG, as regiões de início da observação obtiveram maior tempo de observação embora o olhar do especialista tenha coberto toda a figura.

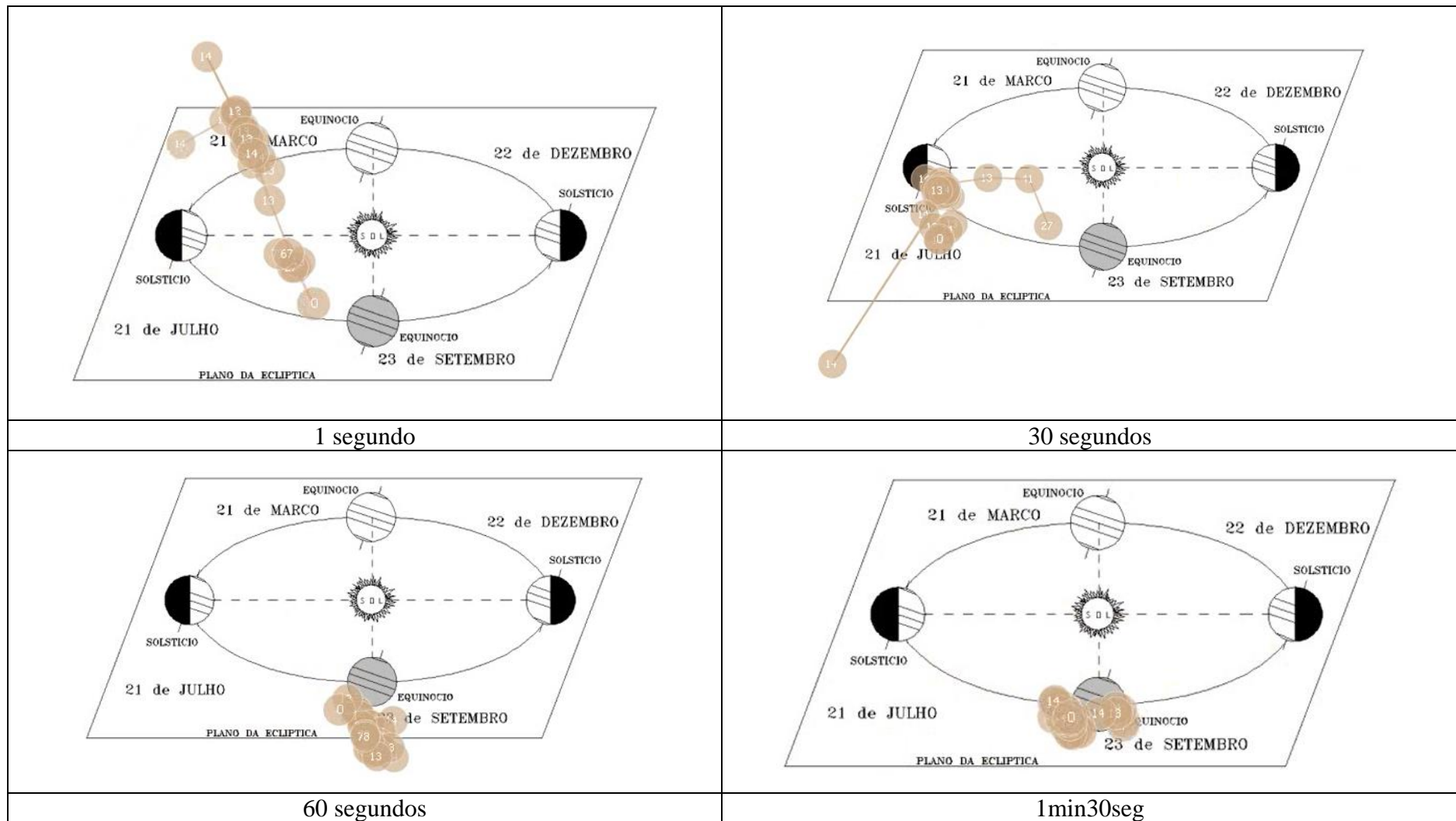
Uma das possibilidades é de que ele tenha observado por maior tempo esses pontos específicos porque o especialista já sabia o que viria após a representação do equinócio de primavera, de forma que dispender maior tempo de observação nesses pontos acabou se tornando trivial.

Um ponto muito interessante sobre a rota de EG é que ele foi crítico em relação à própria diferença entre as estações do ano quando ele diz: “*no fundo, no fundo, o que a gente tem são dois extremos*”. Ele não ensinou sobre estações do ano enquanto observava a figura, e sim, expôs seu ponto de vista. O que não permite identificar uma rota dentre as previstas por Maton e Doran (2021). Segundo os autores, as rotas pedagógicas descritas podem ser: (i) a rota de duração do dia, onde a exploração da constelação inicia-se com a diferença de duração dos dias nas diferentes estações do ano e termina com a explicação do próprio fenômeno, reunindo, ao final da exploração a ideia de que a inclinação e os hemisférios da Terra fazem com que a energia solar atinja os diferentes locais de diferentes formas, o que interfere na duração dos dias e, portanto, nas estações; (ii) A rota do ângulo da luz solar, onde a exploração aborda as diferenças na incidência de luz solar em relação ao ângulo a partir da linha do equador; (iii) A rota do *cluster base*, onde a explicação é mais simples e aborda a distância entre um local específico na Terra e o Sol como principal fato para explicar o fenômeno das estações do ano; E por fim, (iv) a rota composta, onde há a junção de todas as rotas anteriores durante a explicação.

Ocorre que as constelações são feitas com base em todas as vivências e aprendizagem que uma pessoa obteve ao longo de sua vida, e dessa forma, cada pessoa constela determinado assunto de maneira diferente. Sendo assim, não é possível atribuir à rota realizada pelo EG a uma das rotas de Maton e Duran (2021), pois a forma como

EG constela o fenômeno das estações do ano é diferente da forma como os autores constelam com base nos livros didáticos analisados por eles.

Figura 22: A rota de observação do EG na figura com perspectiva heliocêntrica.



Fonte: Elaborada pelos autores.

4.2.2. Imagem II: A inclinação do eixo da Terra e os raios solares (perspectiva geocêntrica)

Mapa de calor

A Figura 23 é referente ao gráfico de calor obtido durante a observação da imagem com perspectiva geocêntrica. As áreas em vermelho indicam o local onde EG teve maior foco e atenção. É possível observar que ele despendeu maior foco e atenção nas regiões centrais inferiores e superiores da imagem, embora tenha realizado a observação de toda a imagem como é representado pela cor roxa.

Foi solicitado que o especialista continuasse seguindo o protocolo *think-aloud* e expressasse em voz alta seus pensamentos durante a observação da imagem.

A transcrição exata da sua fala é:

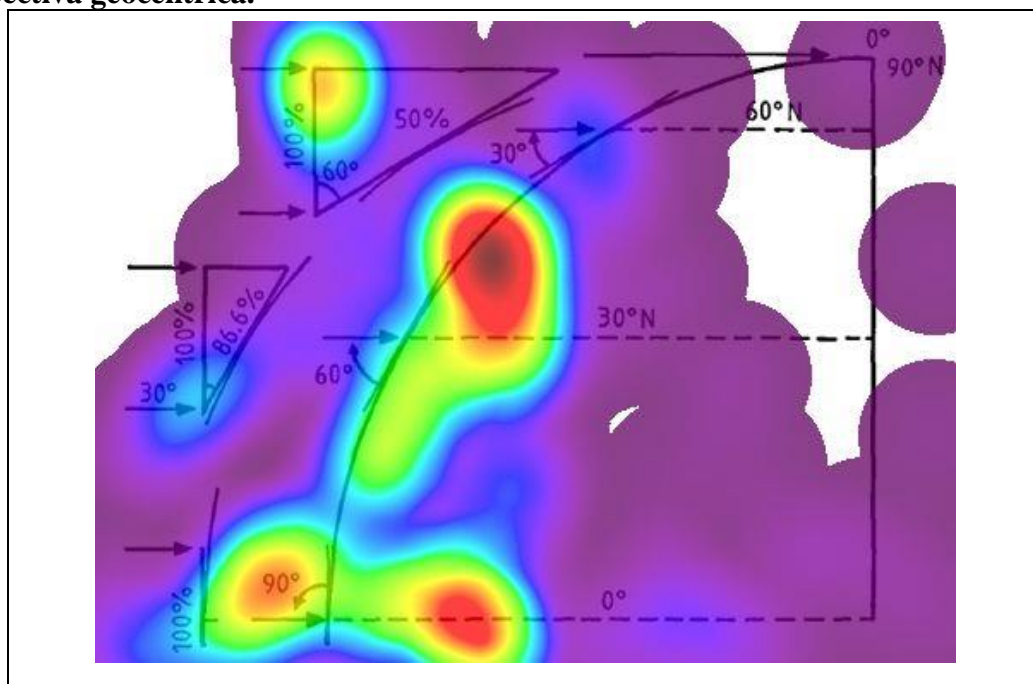
Meu Deus do céu! Isso aqui é maravilhoso!

Vejo aqui um ângulo de inclinação, tendo o Norte como representante máximo da inclinação vertical, e na horizontal, 90° que imagino que tudo isso daqui deva representar um pouco também... uma pálida e nada do que eu disse anteriormente.

Gente!

Eu posso, como geólogo, entender isso aqui como mudança de altitude e grau de inclinação do planeta Terra em que você poderia sair do Equador e indo para onde esses polos... - aqui seria o polo norte obviamente porque tem uma direção lá para frente 'né'? E conforme isso eu poderia imaginar variação de temperatura até chegar ao polo. Não consigo imaginar outra coisa que não seja isso.

Figura 23: Mapa de calor do EG considerando a exploração da imagem com a perspectiva geocêntrica.



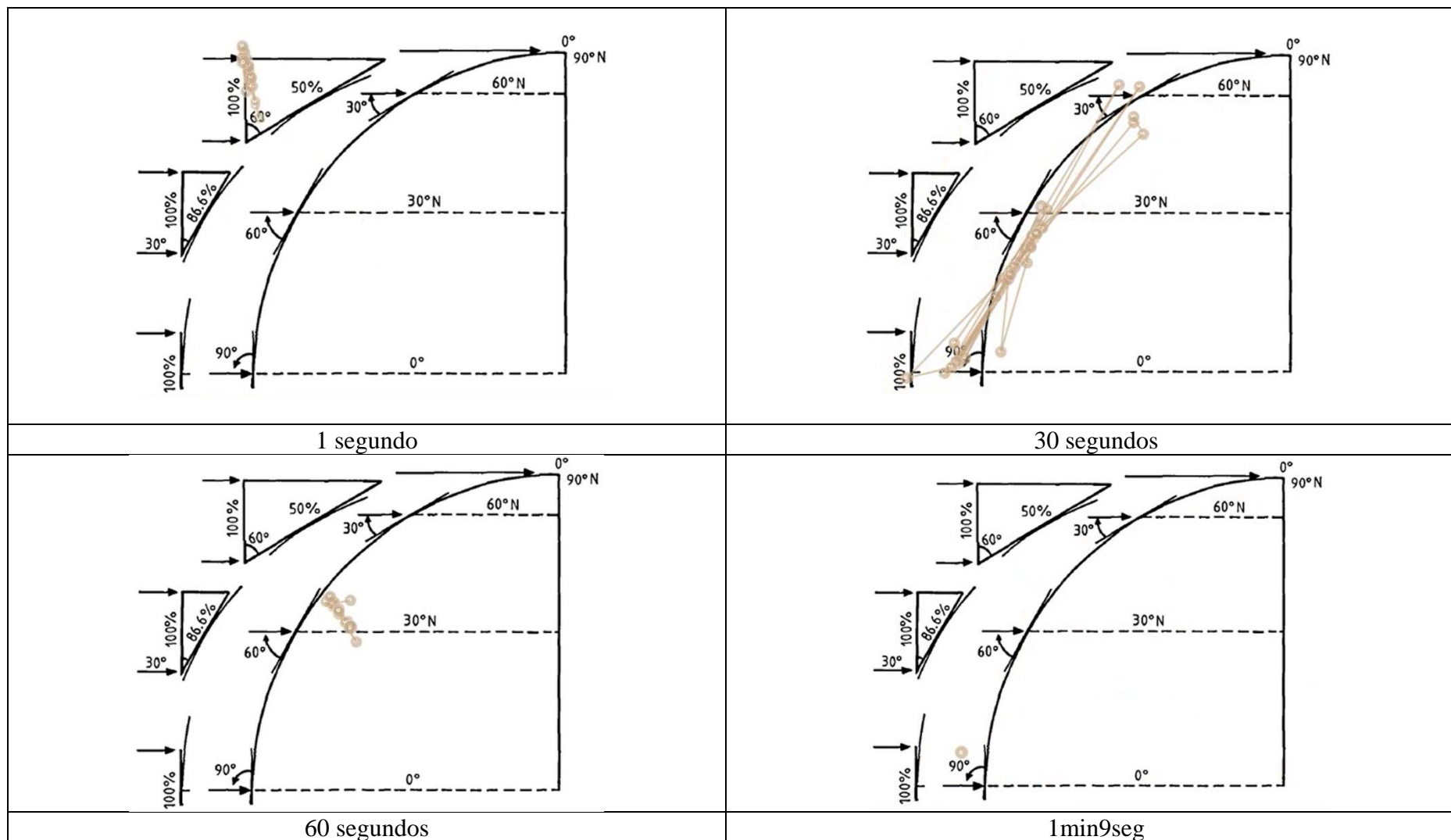
Fonte: Elaborada pelos autores.

Janelas de tempo

A Figura 24 representa a rota de observação de EG para a imagem com perspectiva geocêntrica. Novamente, vale ressaltar que as figuras são fotografias dos momentos (1 segundo, 30 segundos, 60 segundos e 1 minuto e 9 segundos). A duração total da observação do especialista na tela do computador foi de 1 minuto e 9 segundos e todo o tempo foi gasto em observações dentro da área de interesse. O vídeo contendo a rota de observação completa do especialista pode ser assistido clicando [aqui](#).

É possível observar que houve maior atenção despendida na parte da imagem que representa os ângulos de inclinação do eixo da Terra. Isso está de acordo com os comentários em voz alta feitos pelo professor, onde ele refletia sobre o que aquilo poderia significar: *Eu posso, como geólogo, entender isso aqui como mudança de altitude e grau de inclinação do planeta Terra em que você poderia sair do Equador e indo para onde esses polos... Aqui seria o pólo norte obviamente porque tem uma direção lá para frente, né?*

Figura 24: A rota de observação do EG na figura com perspectiva geocêntrica.



Fonte: Elaborada pelos autores.

Ao final da observação das duas figuras, foi perguntado ao especialista a sua opinião sobre a utilização das duas imagens observadas para o ensino de conteúdos relacionados ao fenômeno das estações do ano. Foi solicitada que as respostas também fossem dadas em voz alta:

As duas imagens...

Se houver uma apresentação inicial da segunda imagem com relação a sua importância talvez poderíamos associar com a primeira figura. A segunda imagem lembra uma figura geométrica que eu poderia aplicar para qualquer outra área da ciência e não necessariamente para as estações da Terra. Então penso que se nós associássemos essa segunda imagem com um conteúdo, em que o estudante poderia ter noção daquilo, certamente poderíamos associar por exemplo a relação entre... no inverno, nós teríamos o aumento da espessura da calota polar conforme a gente sai do equador e vai se aproximando ao norte. A altura e a inclinação do sol e o aumento da calota polar. Acredito que sim. Dessa forma que eu vi, talvez eu conseguisse interpretar porque eu tenho certo conhecimento sobre esse assunto, mas para alguém que não tenha relação com ciências da natureza em particular, talvez a figura geométrica represente outra interpretação e não exatamente isso que eu vi. Terminei.

O interessante nesse ponto é que obviamente a constelação do especialista tem muitos conceitos geológicos. Ele apresenta certa dificuldade ao tentar relacionar a segunda imagem com a incidência dos raios solares sobre a superfície terrestre. Por outro lado, ele vê relação com a temperatura terrestre e o engrossamento das calotas polares, fenômeno geológico que está mais presente dentro de sua área de pesquisa e, conseqüentemente, é um dos conceitos centrais em sua constelação a respeito do fenômeno das estações do ano.

4.3. Caracterização do especialista em astronomia (EA)

4.3.1. Imagem I: O plano da eclíptica (perspectiva heliocêntrica)

Mapa de calor

A Figura 25 é referente ao gráfico de calor obtido durante o rastreamento do olhar do especialista (EA) com formação em física e que hoje realiza pesquisa especificamente em astronomia e astrofísica. As áreas em vermelho indicam o local

onde o especialista teve maior foco e atenção. É possível observar que ele despendeu maior foco e atenção nas regiões centrais da imagem.

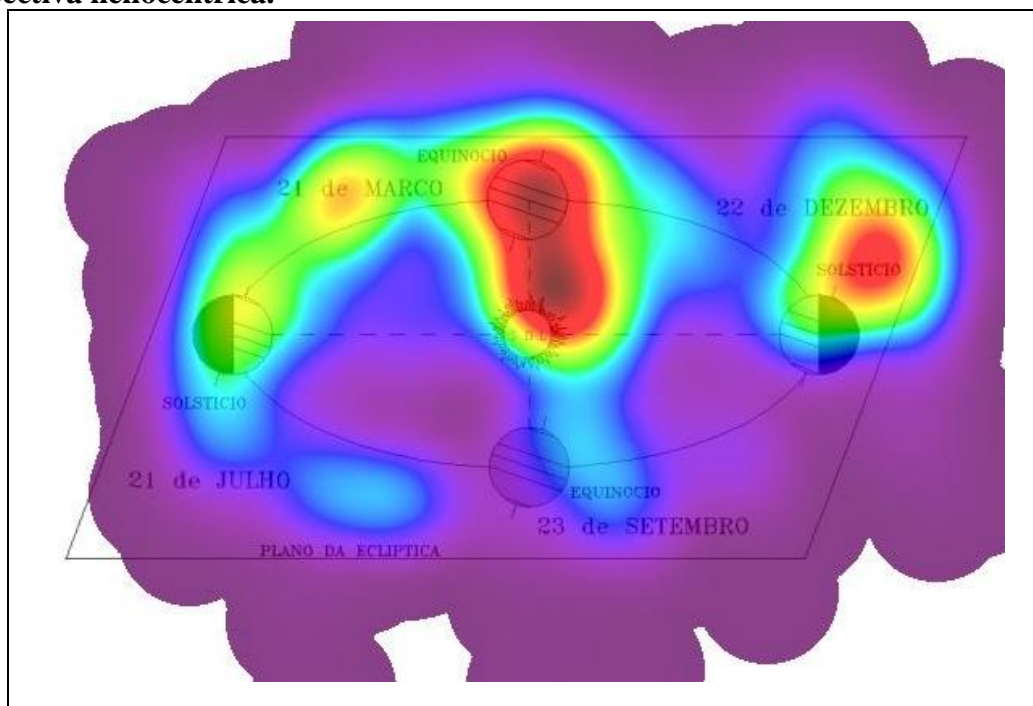
Foi solicitado que o especialista expressasse seus pensamentos em voz alta durante a observação da imagem seguindo o protocolo *think-aloud*.

A transcrição exata da sua fala é:

Então... Tem a órbita da Terra e o Sol visto em perspectiva. Aqui diz que a perspectiva é o fato de ter o recorte na forma de um paralelogramo. Vê-se a Terra em quatro posições, são duas de equinócio e duas de solstício. A figura está fora de escala, o Sol está representado muito menor que a Terra, e também está fora de escala em relação à distância, ou seja, fora de escala de tamanho e distância.

Tem também quatro posições relativas e as datas de cada posição. As datas de equinócio e as datas de solstício. Estão também desenhados o equador e mais dois paralelos de latitude. Vê-se pouco, mas dá para ver também mais dois paralelos de latitude, do círculo polar ártico e antártico. A figura parece correta, é uma figura comum vista em vários livros didáticos. Uma figura bastante batida já. Vou passar para a segunda figura.

Figura 25: Mapa de calor do EA considerando a exploração da imagem com a perspectiva heliocêntrica.



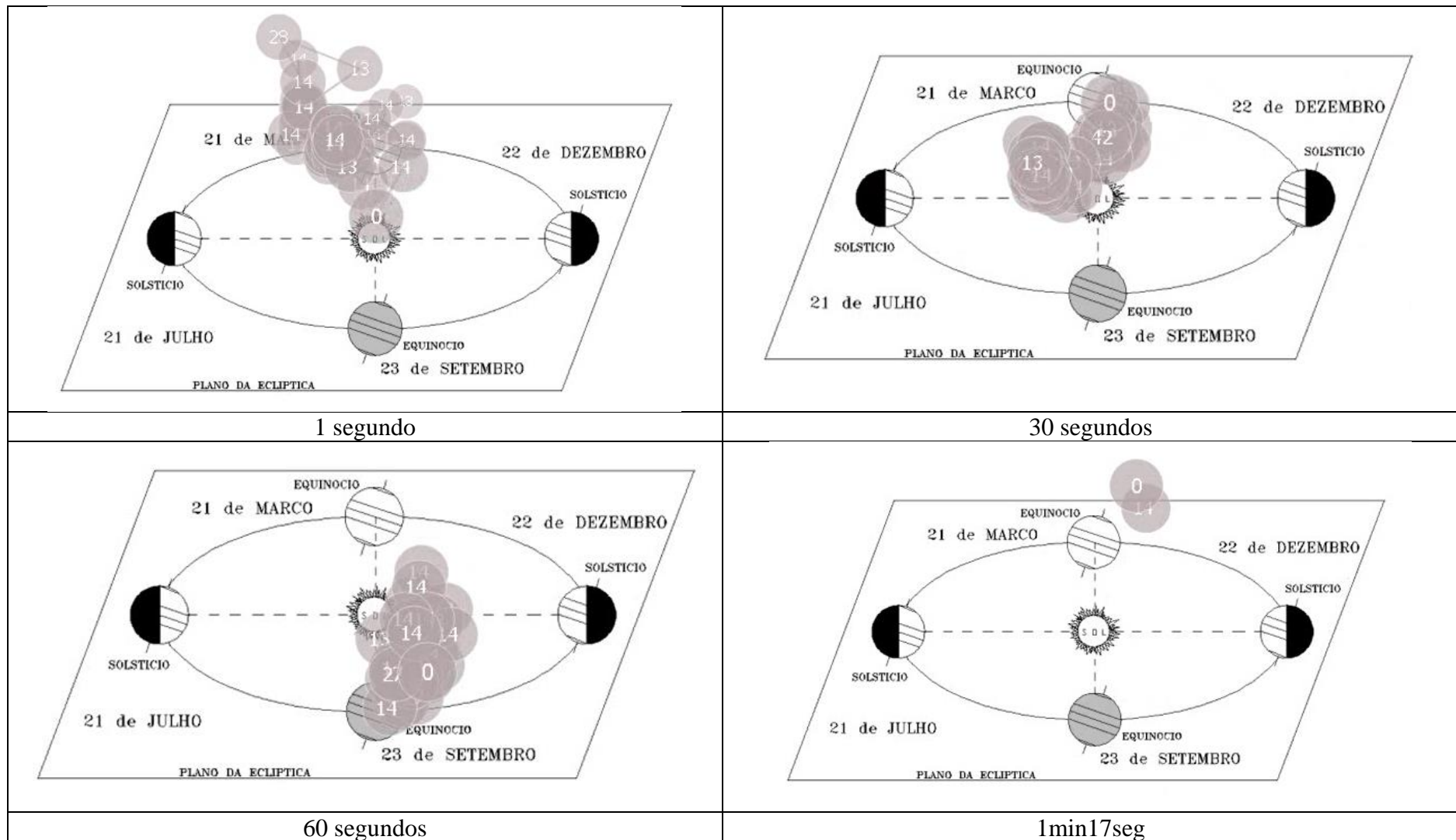
Fonte: Elaborada pelos autores.

Janelas de tempo

A Figura 26 representa a rota de observação do especialista com base no gráfico *gaze-plot* que foi extraída diretamente do *software* de rastreamento ocular. Novamente, as figuras representam fotografias dos momentos (1 segundo, 30 segundos, 60 segundos e 1 minuto e 17 segundos). A duração total da observação do especialista na tela do computador foi de 1 minuto e 17 segundos, de forma que ele manteve o olhar na área de interesse durante toda a sua observação. O vídeo contendo a rota de observação completa do especialista pode ser assistido clicando [aqui](#).

É possível notar que EA despense menos atenção nas partes da imagem que representam os solstícios. Novamente é observado o *efeito do especialista* onde, para ele, observar essas partes da figura é uma trivialidade, visto que ele já reconhece todos os fenômenos representados ali. Como ele mesmo ressalta: “*A figura parece correta, é uma figura comum vista em vários livros didáticos. Uma figura bastante batida*”.

Figura 26: a rota de observação do EA na figura com perspectiva heliocêntrica.



Fonte: Elaborada pelos autores

4.3.2. Imagem II: A inclinação do eixo da Terra e os raios solares (perspectiva geocêntrica)

Mapa de calor

A Figura 27 apresenta o gráfico de calor obtido durante a observação de EA da imagem com perspectiva geocêntrica. As áreas em vermelho indicam o local onde EA teve maior foco e atenção. É possível observar que, embora seu olhar tenha feito à cobertura total da imagem, ele despendeu maior foco e atenção nas regiões que apresentavam valores numéricos. Foi solicitado que EA continuasse seguindo o protocolo *think-aloud* e expressasse em voz alta seus pensamentos.

A transcrição exata da sua fala é:

Essa figura representa os ângulos que os raios solares fazem com o horizonte. Isso é um pouco incomum porque normalmente esse ângulo é dado em relação à normal e à superfície. Então tem uma representação aqui.

Os raios solares são paralelas [retas paralelas], o quarto de círculo à direita representa o corte da Terra. Estão assinalados três paralelos de latitude que são equador, 30°, 60° norte. Também é marcada a posição do polo geográfico norte. É mostrado uma tangente em cada uma das quatro situações, equador a 30° de latitude, a 60° de latitude e o polo geográfico norte. No polo geográfico norte não se vê a tangente, mas, acredito que seja uma figura que não esteja muito boa.

Do lado esquerdo, a gente tem os raios solares paralelos. Existem uma representação da porcentagem possivelmente de intensidade dos raios solares. Primeiro, se a superfície é perpendicular à propagação dos raios solares que dá sempre 100% porque isso é normalizado em 100%.

E aí é apresentado o percentual relativo a cada posição. Esse percentual sugere que seja a intensidade da radiação por metro quadrado em cada uma dessas latitudes. Então no equador, como os raios solares são de fato perpendiculares à superfície, então 100% de um padrão corresponde a 100% sobre o Sol.

A 30° existe o 100% que é o que chegaria à Terra e aí essa intensidade é distribuída numa área maior do que seria por exemplo o metro quadrado, e como a área é maior isso dá uma distribuição de intensidade... Uma intensidade menor por metro quadrado. Menor porque a área é maior. Então...

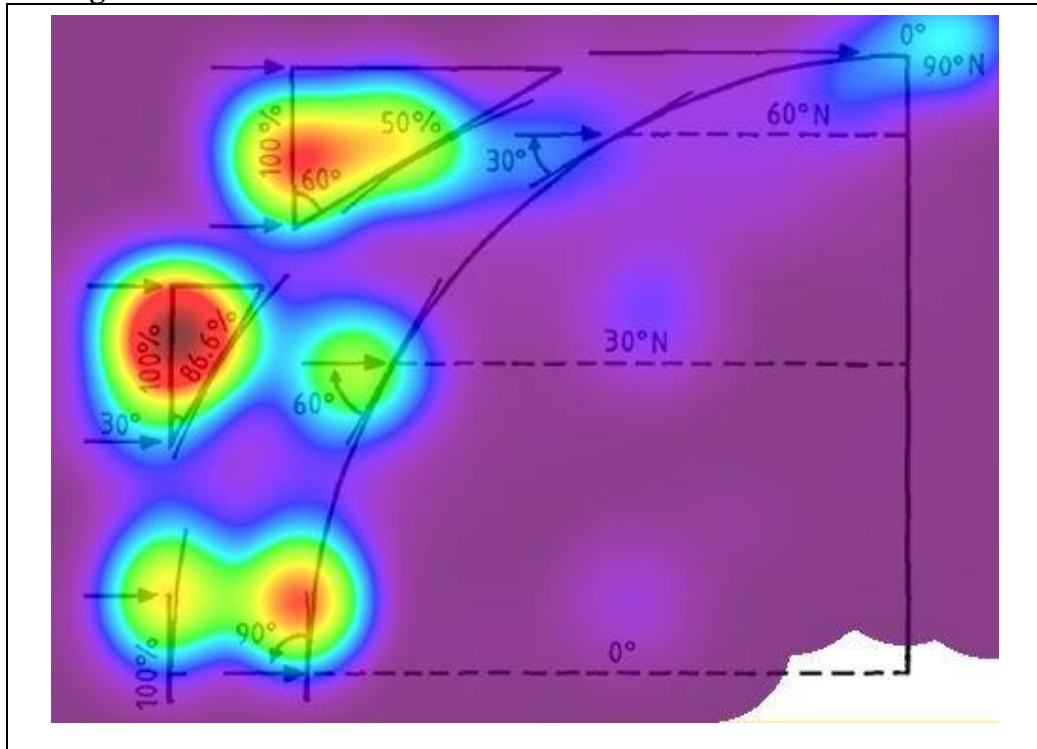
Uma certa quantidade de energia por metro quadrado incidido numa área maior sobre a Terra, então vai dar uma intensidade menor por metro quadrado, a 30° corresponde a 86,6%. A 60°, o equivalente também para essa latitude, então se tem 100% que é o padrão e em uma área da superfície na Terra que corresponde ao dobro da área do equador, então isso vai dar uma intensidade por metro quadrado de 50% daquela relativa àquela que seria caso a incidência fosse normal na superfície. E no polo isso não é representado no percentual, então não se pode ver nada, porque a intensidade aí seria zero, mas não se tem essa representação.

Não é feita nenhuma menção sobre como foram calculados esses percentuais embora a gente saiba que é derivado da função trigonométrica seno e cosseno. Então é representado um ângulo bem pequeno no caso de 30°. Essa representação... Não está claro que aquele ângulo do triângulo corresponde ao 30° que está representado fora do triângulo. Mas, pela escala da figura a gente percebe que deve ser.

No triângulo que corresponde à latitude de 30°, essa marcação de 60° é interno ao triângulo e fica evidente que esse ângulo é 60° de fato. E aí no caso, por exemplo, como o seno de 60° é meio, então aí você tem... Isso corresponde a 50% de incidência do Sol. Ou seja, é uma função do seno desse ângulo e 86,6% também vem da função trigonométrica.

São também assinalados ambos na superfície da Terra, nesse corte da superfície da Terra, entre a direção do horizonte e a direção que vem os raios solares. Então no equador, esse ângulo é 90°. Dando a entender que a incidência é pelo zênite. Ela é perpendicular ao horizonte astronômico. Na latitude de 30° esse ângulo é 60°. Na latitude de 60°, esse ângulo é de 30°, claro que esses dois ângulos são complementares. A figura não deixa claro que esse ângulo só é verdadeiro na passagem meridiana. Esses ângulos entre o Sol e o horizonte são corretos, mas só é verdade quando o Sol está passando no meridiano astronômico do observador. E é só.

Figura 27: Mapa de calor do EA considerando a exploração da imagem com a perspectiva geocêntrica.



Fonte: Elaborada pelos autores.

Janelas de tempo

A Figura 28 representa a rota de observação do especialista com base no gráfico *gaze-plot* que foi extraído diretamente do *software* de rastreamento ocular. Novamente, as figuras representam fotografias de momentos (1 segundo, 30 segundos, 60 segundos e 1 minuto e 30 segundos). A duração total da observação do especialista na tela do computador foi de 6 minutos e 4 segundos. O vídeo contendo a rota de observação completa do especialista pode ser assistido clicando [aqui](#).

Ao final da observação das duas figuras, foi perguntado ao especialista a sua opinião sobre a utilização das duas imagens observadas para o ensino de conteúdos relacionados ao fenômeno das estações do ano. Foi solicitada que a respostas também fossem dadas em voz alta:

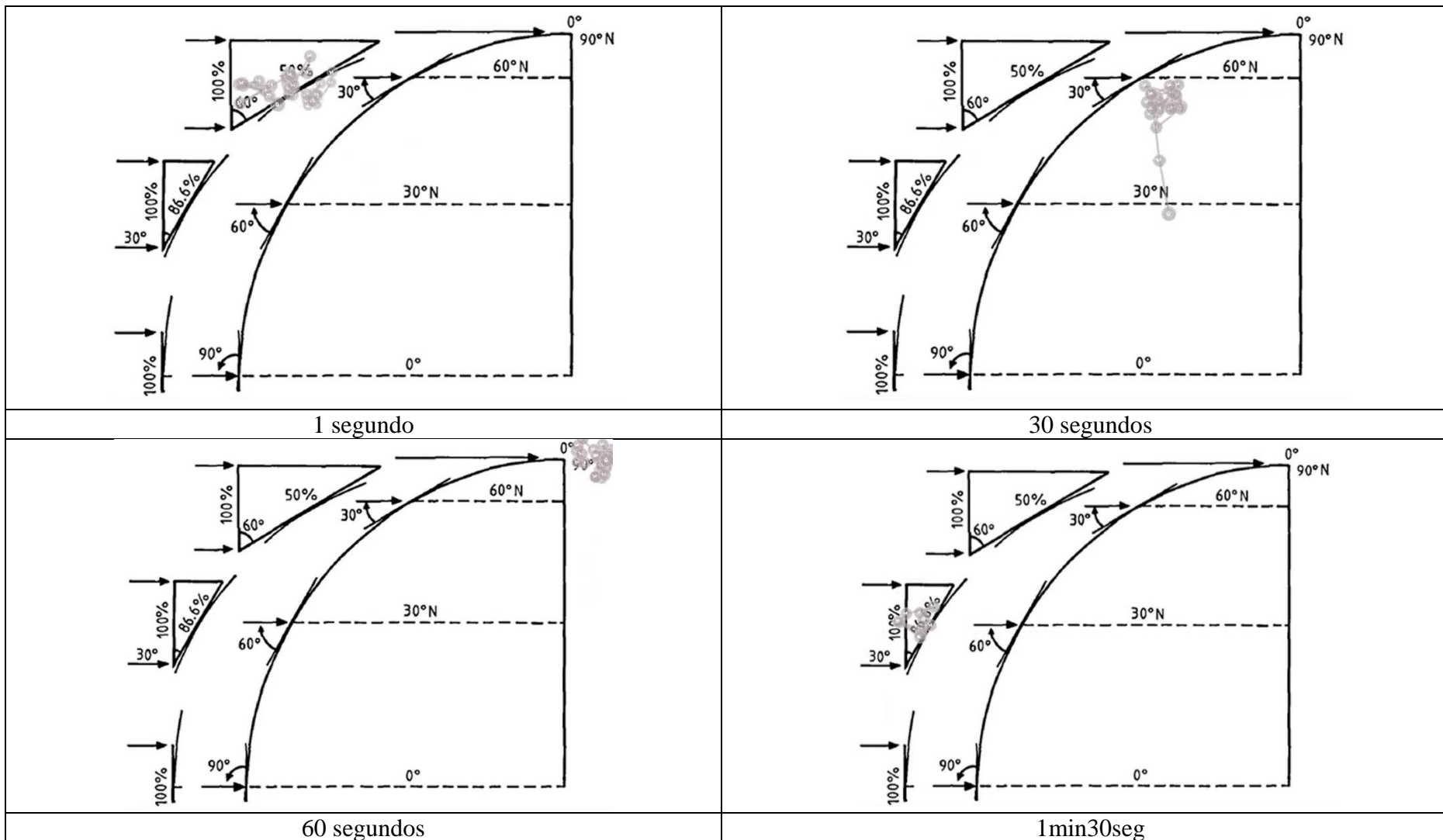
A figura de estações do ano tem sempre duas perspectivas possíveis de ensino e aprendizagem. Uma, a gente chama de geocêntrica e a outra é heliocêntrica. Na primeira imagem que foi ministrada, a perspectiva é heliocêntrica, a segunda é geocêntrica. E essa é a grande dificuldade no ensino. Ou seja, você mostrar

para o aluno, ou seja, para o ouvinte, que existe uma correspondência entre as duas perspectivas porque essa associação não é fácil.

Ou a pessoa entende a perspectiva heliocêntrica, mas não relaciona com o dia a dia dela, com o cotidiano dela. Ou se lhe é apresentada a perspectiva geocêntrica ela não entende porque aquilo acontece.

Ou seja, ela não relaciona aqueles fenômenos, ou seja, as diferentes áreas do Sol nas diferentes épocas do ano à inclinação do eixo de rotação da Terra. Apesar das duas figuras parecerem corretas, salvo algumas ressalvas gráficas, essa dificuldade de associar essas duas figuras persiste porque é muito difícil você transportar a pessoa de uma perspectiva à outra, mostrar a equivalência de uma perspectiva à outra e talvez uma imagem em duas dimensões não seja capaz de fazer isso, talvez a alternativa seja realmente um modelo real em 3 dimensões. Mas isso também esbarra em algumas limitações dependendo do método de ensino. Se, por exemplo, o ensino for um ensino à distância que se utiliza de imagens, ou se o ensino é a base de livros somente, a utilização do modelo em três dimensões não é possível. Nesse caso, a gente fica limitado a essas duas perspectivas e a dificuldade de transportar o conhecimento, a interpretação de uma para outra persiste. É só isso que eu queria falar.

Figura 28: a rota de observação do EA considerando a exploração da imagem com a perspectiva geocêntrica.



Fonte: Elaborada pelos autores.

4.4. Comparando os padrões de visualização dos entrevistados

4.4.1. Tempo e contagem de fixações da imagem com a perspectiva heliocêntrica

A Tabela 01 descreve os resultados obtidos em relação aos parâmetros de rastreamento ocular dos entrevistados. A literatura da área não apresenta a expectativa em relação a tais parâmetros, de forma que não é possível inferir se as contagens de fixações e observações estão adequadas ou não, bem como não existem parâmetros sobre o que poderia ser considerada a quantidade de tempo adequada de observação ou a quantidade de tempo adequada para a primeira fixação. Porém, esses dados permitem a caracterização do padrão visual do especialista e permitem uma breve comparação desses resultados entre os especialistas.

Os parâmetros utilizados na presente análise de dados foram descritos no manual do equipamento, porém, após a pesquisa ser realizada, foi possível observar certas divergências entre o conceito de fixação descrito no manual do usuário do rastreador ocular e o descrito na literatura. A literatura considera que uma fixação é definida quando o mesmo ponto da tela é observado durante no mínimo 100ms com uma dispersão de 30 pixels (Jarodzka *et al.*, 2013).

Tabela 01: Dados de rastreamento ocular considerando a imagem com a perspectiva heliocêntrica.

Especialista	Contagem de fixações (CF)	Contagem de observações (CO)	Tempo de Fixações (TF) (s)
NE	1927	13	40,8
EG	2325	250	66,1
EA	4428	69	70,6

Fonte: Elaborado pelos autores.

É possível observar que EA apresentou maior número de contagem de fixações (CF), ou seja, a quantidade numérica feita na área de interesse foi maior. Uma fixação é contada a cada três milissegundos que o participante mantém os olhos fixos em um mesmo ponto. E por esse motivo, é possível considerar que quanto maior CF, mais foco e atenção foi despendido em uma mesma AI.

Já em relação à contagem de observações (CO), EG apresentou maiores resultados. CO, representa a quantidade numérica de observações feitas na área de

interesse. Uma observação é contada a cada vez que o participante retorna a área de interesse, de forma que um número alto de CO implica que o participante pode ter dificuldade em manter o foco.

Em relação ao tempo de fixações (TF), EA apresentou maiores resultados. TF é o tempo de observação gasto dentro da área de interesse e está relacionado com a manutenção da atenção e foco na mesma área, ou seja, quanto maior o TF, mais atenção recebeu aquela determinada área.

Muito embora ambos entrevistados sejam especialistas no assunto abordado, os resultados apresentados revelaram que EA apresentou maior foco e atenção durante a observação da imagem.

4.4.2. Tempo e contagem de fixações da imagem com a perspectiva geocêntrica

A Tabela 02 apresenta os resultados dos parâmetros de rastreamento ocular relativos, obtidos a partir da observação dos especialistas em relação à imagem com a perspectiva geocêntrica.

Tabela 02: Dados de rastreamento ocular considerando a imagem com a perspectiva geocêntrica.

Especialista	Contagem de fixações (CF)	Contagem de observações (CO)	Tempo de Fixações (TF) (s)
NE	1139	1	25
EG	924	5	67,6
EA	17712	77	350

Fonte: Elaborado pelos autores.

Em relação à contagem de fixações (CF), EA apresentou maiores resultados que EG, ou seja, a quantidade numérica feita na área de interesse foi muito maior. De forma que é possível inferir que EA despendeu maior foco e atenção na imagem.

Em relação à contagem de observações (CO), EA também apresentou maiores resultados. Como cada observação é contada a cada vez que o participante retorna a área de interesse, é possível inferir que um número alto de CO implica que o participante pode ter tido dificuldade em manter o foco.

O interessante a respeito disso é que EA apresentou maiores resultados tanto para CF quanto para CO. O mais comum é que esses parâmetros sejam sempre inversamente proporcionais (Liu, 2014). Porém, com base no *think-aloud*, é possível presumir que a maior quantidade desses dois parâmetros, pode indicar alto processamento cognitivo. Por exemplo, com base na verbalização dos pensamentos de EA, ficou claro que ele passou a maior parte do tempo de sua observação verificando a veracidade dos dados de percentuais apresentados na figura.

Isso fica altamente evidenciado, por exemplo, quando ele diz: *“No triângulo que corresponde à latitude de 30°, essa marcação de 60° é interno, ao triângulo e fica evidente que esse ângulo é 60° de fato. E aí, no caso, por exemplo, como o seno de 60° é meio, então aí você tem... Isso corresponde a 50% de incidência do Sol. Ou seja, é uma função do seno desse ângulo e 86,6% também vêm da função trigonométrica”*.

Em relação ao tempo de fixações (TF), EA apresentou maiores resultados. TF é o tempo de observação gasto dentro da área de interesse e está relacionado com a manutenção da atenção e foco na área de interesse, ou seja, quanto maior o TF, mais atenção foi despendida pelo observador.

Por fim, com base nos parâmetros de rastreamento ocular, EA apresentou maior foco e atenção também na observação da imagem com a perspectiva geocêntrica. Isso pode estar relacionado com a sua inserção direta na astronomia e astrofísica, enquanto EG possui uma visão mais abrangente sobre o fenômeno de estações do ano e consegue ampliar suas discussões para eventos geológicos. Isso revela o quanto o padrão de observação reflete a idiosincrasia de cada especialista.

4.4.3. Caracterização dos especialistas utilizando mapas conceituais

Buscando uma maior fidelidade da representação da estrutura cognitiva dos entrevistados sobre o tema de estações do ano e de suas características, foram elaborados mapas conceituais com base nas entrevistas realizadas. Alguns estudos já foram realizados utilizando os mapas conceituais para representar informações obtidas em entrevistas individuais (Kinchin; Streatfield; Hay, 2010; Heron; Kinchin; Medland, 2018; Aguiar; Correia, 2019) e demonstraram que essa é uma excelente ferramenta para representar o conhecimento.

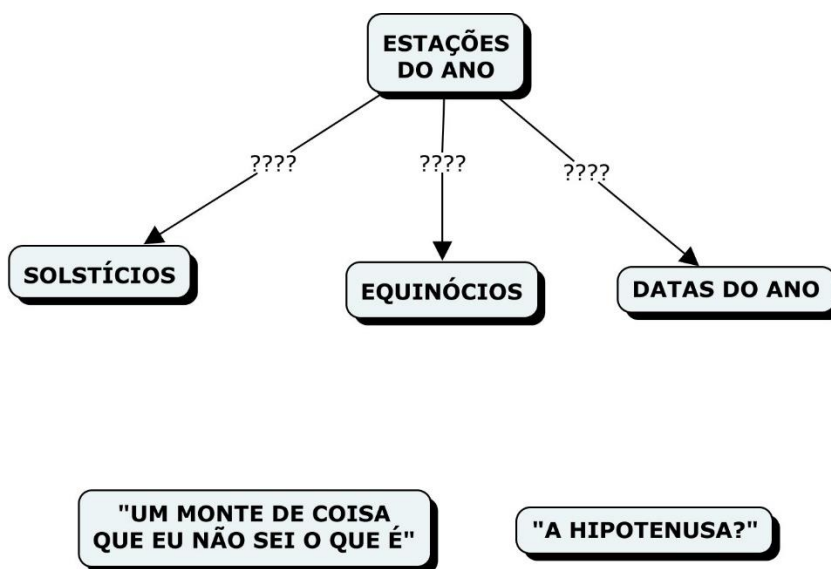
A Figura 29 apresenta o mapa conceitual obtido a partir da entrevista com NE. O MC apresenta poucos conceitos e não há uma relação clara estabelecida com eles. NE

faz uma descrição da imagem que está observando, o que provavelmente evoca nele lembranças sobre sua aprendizagem, mas ele não faz nenhum tipo de reflexão sobre a figura e não há uma tentativa de explicar o fenômeno de estações do ano. Provavelmente isso ocorre devido à existência de LIPHs, porém como ele não faz nenhum comentário, não é possível confirmar a existência das LIPHs.

O que é possível inferir, é que existem poucos conhecimentos prévios, o que dificulta a conexão entre os conceitos e ainda permite que hajam conceitos soltos como “A hipotenusa”. Expressamos no MC a frase “Um monte de coisa que eu não sei o que é” que, muito provavelmente foi dita em um momento de sobrecarga cognitiva após a observação da segunda figura com todos os ângulos e valores e explica a ausência de relação entre os conceitos em seu MC.

O que provavelmente aconteceu é que, os conhecimentos prévios limitados, juntamente com as figuras sem nenhum tipo de mediação, ocasionaram o aumento da CI e CE na memória de trabalho do entrevistado, o que impossibilitou o processamento da figura. Isso não é observado nos MC obtidos a partir das entrevistas com os especialistas.

Figura 29: Mapa Conceitual elaborado a partir da entrevista com o NE.



Fonte: elaborada pelos autores.

A Figura 30 apresenta o mapa conceitual (MC) obtido a partir da entrevista com EG. O MC apresenta três segmentos diferenciados nas cores roxa, laranja e verde. A cor

roxa representa conceitos gerais sobre estações do ano, ou seja, aqueles apresentados nos livros didáticos e que também estão presentes na constelação de Maton e Duran (2021). Alguns conceitos não estão presentes na constelação, mas estão fortemente relacionados a algum dos 'nós' apresentados nela, como por exemplo, o conceito "Mudança de latitude" está relacionado ao nó conceitual "Hemisférios" que não foi citado pelo especialista de maneira enfática, porém apresentou-se de maneira implícita na citação de termos como "latitude", "hemisfério sul e norte", "grau de latitude" e "linha do equador".

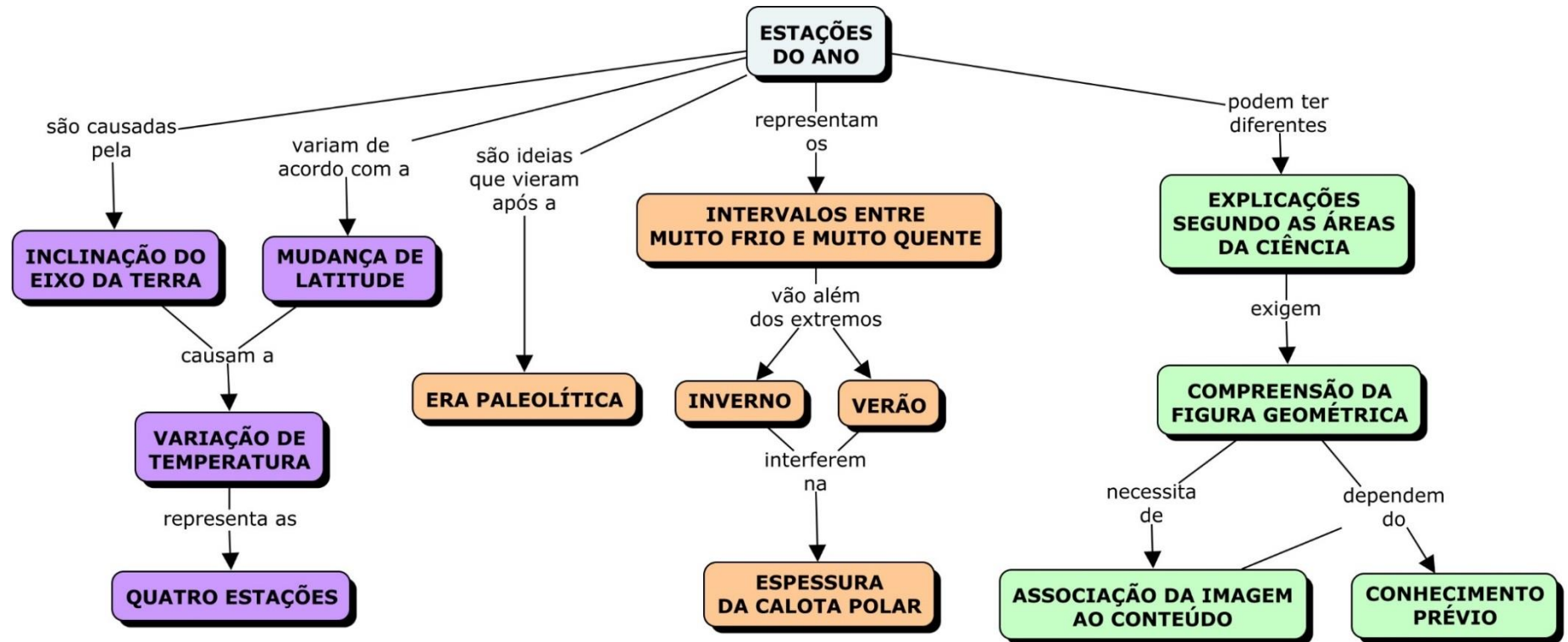
A cor laranja representa o conhecimento dos especialistas sobre estações do ano expressando a sua especialidade ou, melhor dizendo, a sua "identidade" ou o seu pensamento, aquilo que não necessariamente é apresentado em livros didáticos. Por exemplo, a proposição "*Estações do ano - são ideias que vieram após a Era Paleolítica*", coloca em questionamento se realmente existem estações do ano, ou se não são apenas nomes dados por convenção para diferenciar o muito quente do muito frio e o intervalo entre eles. Trata-se de uma reflexão mais aprofundada sobre o termo "Estações do ano" e que muito possivelmente, não seria feita por um não especialista.

O setor verde representa os comentários acerca do ensino de estações do ano, esse setor pode ou não sofrer alterações de acordo com a área de especialidade dos especialistas.

A Figura 31 apresenta o MC obtido a partir da entrevista com EA. É possível observar que EA citou menos conceitos gerais, destacados na cor roxa. Tais conceitos se relacionam diretamente com o conhecimento dentro de sua área de especialidade em astronomia, citando conceitos que são mais comuns a área de exatas e que dificilmente seriam citados por um não especialista ou algum especialista que não tivessem conhecimentos matemáticos sobre como ocorre o fenômeno das estações do ano.

No MC elaborado a partir da entrevista com EA, os conceitos mais presentes são aqueles relacionados ao ensino de estações do ano, onde ele faz uma reflexão sobre a dificuldade de relacionar as duas perspectivas a respeito do fenômeno.

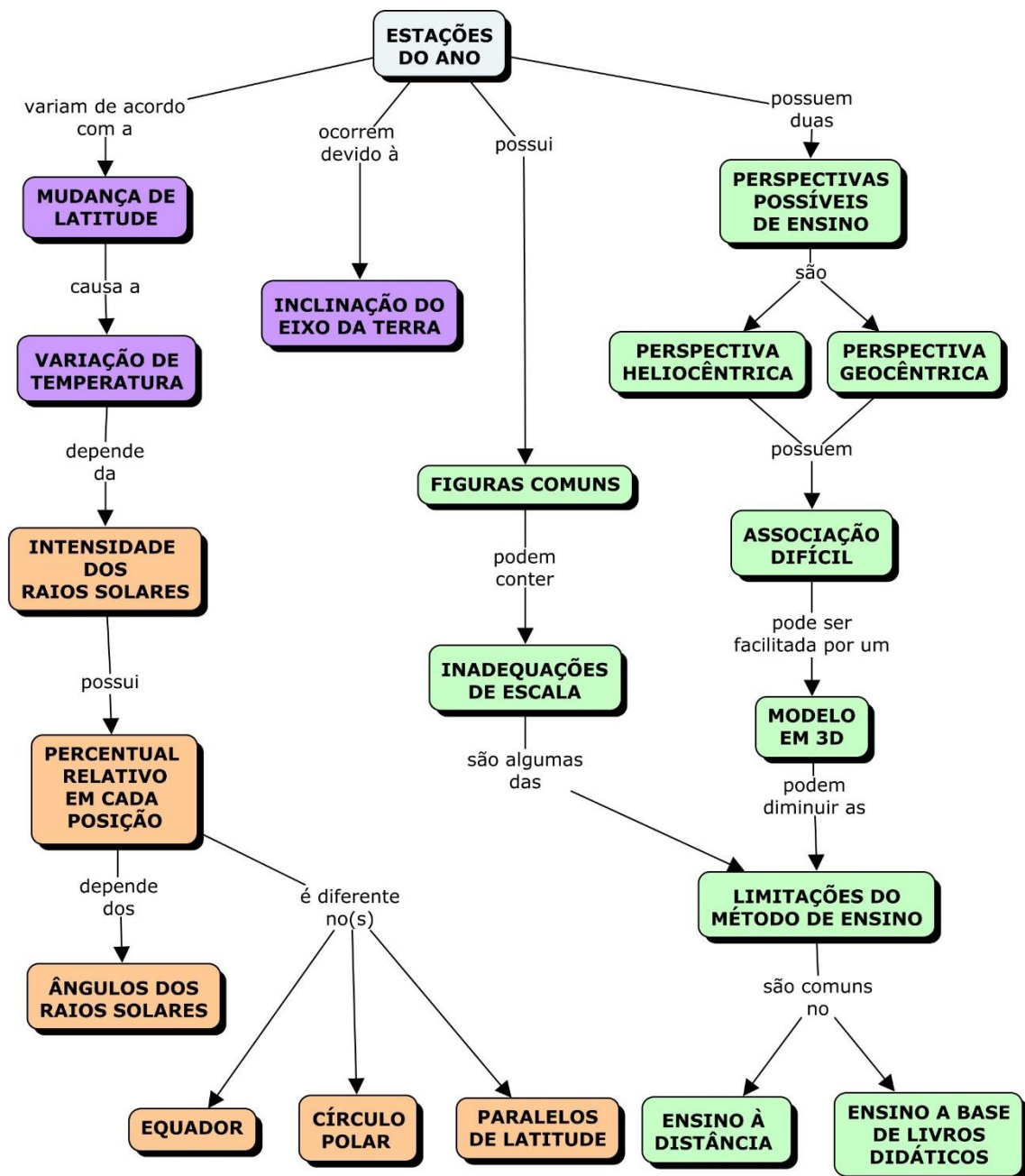
Figura 30: Mapa Conceitual elaborado a partir da entrevista com EG.



Fonte: Elaborada pelos autores.

A dificuldade de associação entre a perspectiva geocêntrica e a perspectiva heliocêntrica pode ser o principal desafio de aprendizagem do conteúdo de estações do ano. No entanto, EA ressalta o papel fundamental das imagens para além do conteúdo. Destaca-se que as figuras mais comuns possuem inadequações na escala de distância entre os corpos celestes e de tamanho dos corpos celestes, o que não corrobora com a aprendizagem e a associação entre as perspectivas geocêntrica e heliocêntrica das estações do ano.

Figura 31: Mapa Conceitual elaborado a partir da entrevista com EA.



Fonte: Elaborada pelos autores.

GA finaliza sua reflexão sugerindo que a aprendizagem possa ser facilitada com a utilização de modelos em três dimensões, mas que isso depende das limitações impostas pelo próprio método de ensino, que pode ser à distância, ou limitado apenas ao uso de livros didáticos como recurso.

Os dois MC elaborados a partir das entrevistas com os especialistas ressaltam as diferenças entre ambos os perfis. É possível observar que, do ponto de vista dos especialistas, muitos assuntos podem ser abordados e discutidos a partir de duas imagens sobre estações do ano.

É importante ressaltar que ambos são professores de disciplinas onde o conteúdo de estações do ano se faz presente e que suas experiências pessoais e interpessoais na docência influenciam na forma como observam e tecem comentários a partir das duas imagens observadas. Os MC expressam positivamente as idiossincrasias entre os dois entrevistados e colocam sob perspectiva as possibilidades de escolhas sobre qual especialista deve ser acionado durante a elaboração da EMME.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo teve como objetivo caracterizar de maneira qualitativa o comportamento visual de especialistas buscando melhores condições para a elaboração dos materiais de estudo com base no seu padrão de observação (EMME).

As perguntas de pesquisa foram: (I) "Quais são as diferenças entre a forma como especialistas e não especialista observam duas figuras sobre as estações do ano?" e (II) "Existem diferenças no comportamento visual de especialistas, de forma que isso impacte na elaboração do material de estudo?". As nossas hipóteses foram de que (I) os especialistas fariam a observação das figuras enfatizando os pontos fundamentais para a compreensão do conteúdo e que (II) eles apresentariam diferentes padrões de visualização.

Com base nos resultados apresentados, foi possível verificar que existem diferenças no comportamento visual dos especialistas. Isso ficou ainda mais evidente com a elaboração dos MCs feitos a partir dos resultados obtidos por meio do rastreamento ocular e do protocolo *think-aloud*.

Foi possível verificar que, embora o conteúdo seja o mesmo, as experiências vividas ao longo da vida do indivíduo norteiam a forma como ele compreende esse conteúdo, sendo assim, os MCs se diferenciam, ainda que mantenham algumas similaridades. Dessa forma, a escolha do especialista que vai realizar a observação das imagens que darão origem à EMME não deve ser feita sem uma análise sobre o especialista. Deve haver conhecimento sobre os objetivos de aprendizagem e sobre as possibilidades de discussões que tais especialistas podem desenvolver.

O objetivo foi cumprido, entretanto, não houve testes com os estudantes utilizando a EMME feita a partir da observação dos especialistas. Isso poderia lançar luz à utilização do rastreamento ocular como uma ferramenta capaz de auxiliar na elaboração de materiais didáticos mais eficientes. Os estudos futuros podem incluir testes de eficiência com a EMME, realizando uma análise sobre o ganho de aprendizagem dos estudantes.

Não foi analisado como os especialistas abordam os conteúdos de estações do ano em suas aulas. Dessa forma, a caracterização dos especialistas limitou-se a como eles observaram as figuras e seus comentários. Há uma riqueza que poderá ser explorada futuramente sobre como isso se coloca em prática dentro da sala de aula.

Embora as entrevistas realizadas tenham lançado luz aos diferentes perfis dos especialistas e como eles podem ensinar e refletir sobre o fenômeno de estações do ano, houveram limitações quanto ao número de entrevistados. É possível inferir que cada entrevistado esboçaria relações, reflexões e conhecimentos diferentes, no entanto, é uma possibilidade de estudo futura inexplorada.

Por fim, a utilização da EMME para o ensino com materiais de estudos digitais vem sendo estudada por diversos autores como uma possibilidade para melhorar a aprendizagem de estudantes no ensino de diversos conteúdos, dentre eles, o ensino de ciências. As implicações pedagógicas dessa pesquisa, portanto, se referem a melhorar as figuras para o ensino de conceitos abstratos que, porventura, podem conter concepções alternativas. Existem muitas lacunas a serem preenchidas acerca do uso da EMME, bem como o uso do rastreamento ocular no ensino de ciências, o que abre um leque de possibilidades para novos estudos e interesses de pesquisa.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, J. G.; CORREIA, P. R. M. Um novo olhar sobre a vida acadêmica: estudo de caso sobre as concepções de docentes. **Educação e Pesquisa**, 45, e193301, 2019, pp. 1-30.

ALEXOPOULOU, E., DRIVER, R. Small group discussion in physics: Peer interaction modes in pairs and fours. **Journal of Research in Science Teaching**, v.33, n. 10, pp. 1099–1114, 1996.

AMADIEU, F.; VAN GOG, T.; PASS, F.; TRICOT, A.; MARINE, C. Effects of prior knowledge and concept-map structure on disorientation, cognitive load, and learning. **Learning and Instruction**, v.19, pp. 376-386, 2009.

AUSUBEL, D.P. **The acquisition and retention of knowledge: a cognitive view**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. 2000.

BASCONES, J.; NOVAK, J. D. Alternative instructional systems and the development of problem solving skills in physics. **European Journal of Science Education**, v.7, n. 3, pp. 253–261, 1985.

BERNSTEIN, B. **Class, Codes and Control**, Volume IV: The Structuring of Pedagogic Discourse, London: Routledge, 1990.

BRANSFORD, J. D.; BROWN, A. L.; COCKING, R. R. **How people learn: Brain, mind, experience, and school**. Washington, DC: National Academy Press, 1999.

CARAMAZZA, McCGRIFITHS, A. K.; GRANT, B. A. C. High school students' understanding of food webs: Identification of a learning hierarchy and related misconceptions. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 22, n.5, 421–436, 1985.

CHI, M. T. H.; FELTOVICH, P. J.; GLASER, R. Categorization and representation of physics problems by experts and novices. **Cognitive Science**, v. 5, pp.121–152, 1981.

CHO, H. H.; KAHLE, J. B.; NORDLAND, F. H. An investigation of high school biology textbooks as sources of misconceptions and difficulties in genetics and some suggestions for teaching genetics. **Science Education**, v. 69, n. 5, pp. 707–719, 1985.

- CORREIA, P. R. M.; INFANTE-MALACHIAS, M. E. **Expanded collaborative learning and concept mapping: A road to empowering students in classroom.** *In:* TORRES, P. L.; MARRIOTT, R. C. V. Handbook of research on collaborative learning using concept mapping. Hershey: Information Science Reference, 2009, cap. 14, p. 283–300, 2009.
- DRIVER, R.; ASOKI, H.; LEACH, J.; SCOTT, P.; MORTIMER, E. F. Constructing scientific knowledge in the classroom. **Educational Researcher**, v. 23, n. 7, pp. 5-12, 1994.
- DRIVER, R.; EASLEY, J. Pupils and paradigms: a review of literature related to concept development in adolescent science students. **Studies in Science Education**, v. 5, n. 1, pp. 61-84, 1978.
- GILBERT, J. K. **Exploring models and modeling in science and technology education.** The University of Reading: The new Bulmershe papers, 1997.
- GLENN, E. **From clashing to matching: Examining the legitimation codes that underpin shifting views about climate change**, unpublished PhD thesis, University of Technology Sydney, Australia, 2016.
- GRIFFITHS, A. K.; GRANT, B. A. C. High school students' understanding of food webs: Identification of a learning hierarchy and related misconceptions. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 22, n. 5, pp. 421–436, 1985.
- HERON, M.; KINCHIN, I; MEDLAND, E. (2018). Interview talk and the co-construction of concept maps. **Educational Research**, v.60, n. 4, pp.373-389, 2018.
- HODSON, D. In search of a meaningful relationship: an exploration of some issues relating to integration in science and science education. **International Journal of Science Education**, v. 14, n. 5, pp. 541-562, 1992.
- IAU Constellation Names. **International Astronomical Union**, 2019. Disponível em: <<https://www.iau.org/public/themes/constellations/>>. Acesso em: 20, setembro de 2023.
- JACKSON, V. Applying the Think-Aloud Strategy to Improve Reading Comprehension of Science Content. **Current Issues in Education**, v. 19, n. 2, 2016.

JARODZKA, H.; VAN GOG, T.; DORR, M.; SCHEITER, K.; GERJETS, P. Learning to see: Guiding students' attention via a Model's eye movements fosters learning. **Learning and Instruction**, v. 25, pp. 62-70, 2013.

JUSTI, R.; GILBERT, J. History and philosophy of science through models: some challenges in the case of "the atom". **International Journal of Science Education**, v. 22, n. 9, pp. 993–1009, 2000.

LAMBRINOS, E. **Building ballerinas: Developing dance and dancers in ballet**. Unpublished PhD thesis, University of Sydney, Australia, 2020.

LIU, P. Using eye tracking to understand learners' reading process through the concept-mapping learning strategy. **Computers & Education**, v. 78, pp. 237-249, 2014.

KINCHIN, I. M.; STREATFIELD, D.; HAY, D. B. Using concept mapping to enhance the research interview. **International Journal of Qualitative Methods**, v.9, n.1, pp. 52-68, 2010.

MACNAMARA, J. T. **Names for things: A study of human learning**. Cambridge, MA: MIT Press, 1982.

MASON, L.; PLUCHINO, P.; TORNATORA, M. Using eye-tracking technology as an indirect instruction tool to improve text and picture processing and learning. **British Journal of Educational Technology**, v. 47, pp. 1083–1095, 2016.

MASON, L.; SCHEITER, K.; TORNATORA, M. Using eye movements to model the sequence of text–picture processing for multimedia comprehension. **Journal of Computer Assisted Learning**, v. 33, pp. 443–460, 2017.

MATON, K. **Knowledge and Knowers: Towards a Realist Sociology of Education**, London: Routledge, 2014.

MATON, K.; DORAN, Y. J. How relations among ideas help build knowledge. **Teaching Science: Knowledge, Language, Pedagogy**, pp. 49-75, 2021.

MERRIENBOER, J. J. G.; SWELLER, J. Cognitive load theory in health professional education: design principles and strategies. **Medical Education**, v. 44, pp. 85-93. 2010.

NOVAK, J. D. Application of advances in learning theory and the philosophy of science to the improvement of chemistry teaching. **Journal of Chemical Education**, v. 61, n. 7, pp. 607–612, 1984.

NOVAK, J. D. Human constructivism: A unification of psychological and epistemological phenomena in meaning making. **International Journal of Personal Construct Psychology**, v. 6, pp. 167-193, 1993.

NOVAK, J. D. Meaningful learning: the essential factor for conceptual change in limited or inappropriate propositional hierarchies leading to empowerment of learners. **Science Education**, v. 86, pp. 548-571, 2002.

OJALA, J. The third planet. **International Journal of Science Education**, v. 14, n. 2, pp. 191-200, 1992.

PENDLEY, B.; BRETZ, R. L.; NOVAK, J. D. Concept maps as a tool to assess instruction in chemistry. **Journal of Chemical Education**, v. 70, n. 1, pp. 9–15, 1994.

PINES, A. L.; NOVAK, J. D. The interaction of audio-tutorial instruction with student prior knowledge: A proposed qualitative case study methodology. **Science Education**, v. 69, n. 2, pp. 213–228, 1985.

RAYNER, K.; CHACE, K. H.; SLATTERY, T. J.; ASHBY, J. Eye movements as reflections of comprehension processes in reading. **Scientific Studies of Reading**, v. 10, pp. 241-255, 2006.

RYDER, J.; LEACH, J.; DRIVER, R. Undergraduate science student's images of science. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 36, n. 2, pp. 201–219, 1999.

SWELLER, J.; AYRES, P.; KALYUGA, S. **Cognitive Load Theory**. NY: Springer, 2011.

VYGOSTKY, L.S. **Mind in society: The development of higher psychological processes**. Cambridge: Harvard University Press, 1978, 175 p.