

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA E SOCIEDADE**

RONNIE PETTER PEREIRA ZANATTA

***COGITAMUS* NA SALA DE AULA: desvios, traduções e híbridos na mediação
tecnológica da Física Moderna no Ensino Fundamental**

TESE

**CURITIBA
2023**

RONNIE PETTER PEREIRA ZANATTA

COGITAMUS NA SALA DE AULA: desvios, traduções e híbridos na mediação tecnológica da Física Moderna no Ensino Fundamental

COGITAMUS IN THE CLASSROOM: detours, translations and hybrids in the technological mediation of Modern Physics in Elementary School

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia e Sociedade, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como requisito parcial para a obtenção do grau de Doutor em Tecnologia e Sociedade.
Área de Concentração: Tecnologia e Sociedade
Linha de Pesquisa: Mediações e Culturas
Orientador: Prof. Dr. Nestor Cortez Saavedra Filho

CURITIBA
2023



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos aos autores. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



RONNIE PETTER PEREIRA ZANATTA

**COGITAMUS NA SALA DE AULA: DESVIOS, TRADUÇÕES E HÍBRIDOS NA MEDIAÇÃO
TECNOLÓGICA
DA FÍSICA MODERNA NO ENSINO FUNDAMENTAL**

Trabalho de pesquisa de doutorado apresentado como requisito para obtenção do título de Doutor Em Tecnologia E Sociedade da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).
Área de concentração: Tecnologia E Sociedade.

Data de aprovação: 09 de Maio de 2023

Dr. Nestor Cortez Saavedra Filho, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Dr. Agostinho Serrano De Andrade Neto, Doutorado - Universidade Luterana do Brasil (Ulbra)
Dra. Marília Abrahão Amaral, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Dr. Nilson Marcos Dias Garcia, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Dr. Sergio Camargo, Doutorado - Universidade Federal do Paraná (Ufpr)

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 10/05/2023.

AGRADECIMENTOS

Assim como qualquer outra produção acadêmica, esta pesquisa não é irreduzível em si. Diversos atores compõem a rede que busquei estabelecer. Todos eles, direta ou indiretamente, inscreveram-se de maneira significativa nos resultados desta pesquisa. Aqui, quero trazer alguns deles à luz e, com carinho, agradecê-los.

Inicialmente agradeço a Universidade Tecnológica Federal do Paraná, uma Universidade pública, gratuita e de qualidade, da qual TODOS nós devemos ter orgulho e defender. Agradeço também aos governos democráticos, anteriores a 2016 e posterior a 2023, que acreditaram e acreditam que a educação é o mecanismo fundamental para a transformação de uma nação e, por isso, possibilitaram o aumento do investimento na área de pesquisa, permitindo o surgimento de novos cursos de pós-graduação, incentivando a ciência e o desenvolvimento nacional.

Agradeço a todos os professores e pesquisadores do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia e Sociedade que contribuíram imensamente para o meu desenvolvimento enquanto pesquisador.

Dentre esses pesquisadores, gostaria de agradecer especialmente ao Professor Dr. Nestor Cortez Saavedra Filho, meu orientador, que, além de guiar meus passos no caminho da ciência, me ensinou sobre História, Filosofia e Sociologia das Ciências, filmes, vinhos, viagens, questões sociais e políticas, enfim, um pouco de tudo. Obrigado pela paciência, pelo companheirismo e pela amizade.

Agradeço aos professores: Dra. Andreia Guerra de Moraes, Dra. Marília Abrahão Amaral, Dr. Agostinho Serrano de Andrade Neto, Dr. Nilson Marcos Dias Garcia e Dr. Sérgio Camargo que, gentilmente, aceitaram participar das bancas de qualificação, ou defesa, ou ambas desta tese. As contribuições destes professores são muitas, através de seus textos, de conversas, de sugestões teóricas e metodológicas e pelo trabalho que exercem na produção da ciência no Brasil.

Aos meus colegas do Grupo de Pesquisa Interdisciplinaridade, Mediação Tecnológica e Educação para a Ciência, agradeço pelas discussões, conversas e encontros. Vocês me ajudaram muito.

Agradeço à direção, à equipe pedagógica e aos estudantes da Escola Municipal Albert Schweitzer por tornar essa pesquisa possível.

Quero agradecer de forma muito especial àqueles que sustentam a minha existência: à minha Mãe que é a minha fortaleza; ao meu irmão e às minhas irmãs

que são meus alicerces; aos meus sobrinhos e às minhas sobrinhas que são a minha esperança de um futuro melhor; aos meus cunhados e à minha cunhada que são minha alegria. Vocês são o meu porto seguro. Obrigado de todo meu coração. Amo vocês.

Agradeço também aos meus amigos pessoais. Obrigado por todos os sorrisos que vocês provocaram e por me ensinarem que a vida só vale a pena se a gente puder compartilhar. Não cito nominalmente todos porque tenho pavor de deixar registrado para sempre que esqueci alguém.

Agradeço à minha irmã de coração Marta Meira de Castro Laranjo. Obrigado, minha amiga, por todas as conversas, todos os sorrisos, todas as lágrimas, todas as trocas de conhecimentos.

Por fim, o agradecimento mais importante: a Deus. Obrigado, Senhor, por chegar até aqui. Crer em Ti faz da minha vida muito mais feliz.

À Valci, minha mãe.

“Reais como a natureza, narrados como o discurso, coletivos como a sociedade, existenciais como o Ser, tais são os quase-objetos que os modernos fizeram proliferar, e é assim que nos convém segui-los, tornando-nos simplesmente aquilo que jamais deixamos de ser, não-modernos”.

RESUMO

ZANATTA, Ronnie Petter Pereira. **COGITAMUS NA SALA DE AULA**: desvios, traduções e híbridos na mediação tecnológica da Física Moderna no Ensino Fundamental. 2023. 227f. Tese (Doutorado em Tecnologia e Sociedade) – Programa de Pós-Graduação em Tecnologia e Sociedade, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2023.

Com as mudanças promovidas no âmbito educacional pelo desenvolvimento científico e tecnológico fomentado pelas estruturas sociopolíticas contemporâneas, novas e complexas relações são estabelecidas entre os sujeitos e os objetos no processo ensino-aprendizagem. Na Educação Científica, diferentes artefatos digitais são apropriados pelos professores como recursos na mediação pedagógica de conceitos construídos pela comunidade científica. Buscando aprofundar e melhor caracterizar a articulação entre os diferentes atores em sala de aula, discutimos nesta pesquisa como a mediação digital no processo de ensino-aprendizagem dos conceitos de Física Moderna e Contemporânea de estudantes do 9º ano do ensino fundamental estabelece a produção de mecanismos híbridos de cognição entre humanos e não humanos, à luz da simetria generalizada de Bruno Latour. Para tanto, escolhemos como conteúdo de conhecimento o fenômeno da fusão nuclear, previsto como objeto de conhecimento na Base Nacional Comum Curricular (BNCC) de Ciências da Natureza. Diante disso, adotamos a articulação de três referenciais teóricos, a Teoria da Mediação Cognitiva em Rede (TMC), responsável por discutir os mecanismos de mediação como processamento externamente ao cérebro humano e suas implicações na estrutura cognitiva dos estudantes, a Teoria dos Modelos Mentais de Johnson-Laird que classifica e categoriza os tipos de representações mentais e a concepção da não modernidade latouriana que fornece uma visão sistêmica, reticular e não dicotomizada da construção da realidade. Os resultados iniciais foram obtidos após as análises realizadas dos questionários e das linguagens verbal e gestual dos estudantes. Posteriormente, realizamos a interpretação dos resultados de acordo com os conceitos de hibridação, desvios e traduções da antropologia simétrica latouriana. Constatamos que a mediação digital nesse contexto influencia nos mecanismos cognitivos utilizados pelos estudantes e na sofisticação das representações mentais construídas por eles. Por fim, reconhecemos que, tanto o processo de ensino-aprendizagem quanto a construção de representações mentais a partir da mediação digital, constituem-se em híbridos latourianos, pois os atores envolvidos passam a compartilhar competências humanas e não humanas.

Palavras-chave: ensino de ciências; mediação cognitiva; representações mentais; antropologia simétrica de Bruno Latour; hibridação humano e não-humano.

ABSTRACT

ZANATTA, Ronnie Petter Pereira. **COGITAMUS IN THE CLASSROOM**: detours, translations, and hybrids in the technological mediation of Modern Physics in Elementary School. 2023. 227p. Thesis (Ph.D. in Technology and Society) – Postgraduate Program in Technology and Society, Federal Technological University of Paraná, Curitiba, 2023.

With the changes promoted in the educational field by scientific and technological development fostered by contemporary sociopolitical structures, new and complex relationships are established between subjects and objects in the teaching and learning process. In Science Education, different digital artifacts are appropriated by teachers as a resource in the pedagogical mediation of concepts constructed by the scientific community. In order to deepen and better characterize the articulation between different actors in the classroom, we discuss in this research how digital mediation in the teaching and learning process of Modern and Contemporary Physics concepts for 9th-grade students establishes the production of hybrid mechanisms of cognition between humans and non-humans, in light of Bruno Latour's generalized symmetry. To do so, we have chosen the phenomenon of nuclear fusion as the content of knowledge, which is foreseen as a knowledge object in the National Common Curricular Base (BNCC) for Natural Sciences. In view of this, we adopt the articulation of three theoretical frameworks: the Theory of Networked Cognitive Mediation (TMC), responsible for discussing mediation mechanisms as processing external to the human brain and its implications in the cognitive structure of students; the Theory of Mental Models by Johnson-Laird, which classifies and categorizes types of mental representations; and the conception of non-modernity by Latour, which provides a systemic, reticular, and non-dichotomized view of reality construction. Initial results were obtained after analyzing the questionnaires and the verbal and gestural languages of the students. Subsequently, we interpret the results according to the concepts of hybridization, detours, and translations from Latour's symmetrical anthropology. We found that digital mediation in this context influences the cognitive mechanisms used by students and the sophistication of the mental representations they construct. Finally, we acknowledge that both the teaching and learning process and the construction of mental representations through digital mediation constitute Latourian hybrids, as the actors involved begin to share human and non-human competencies.

Keywords: science teaching; cognitive mediation; mental representations; digital mediation; Bruno Latour's symmetrical anthropology; hybridization human and non-human.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|-----|
| Figura 1 - Tipologia das representações mentais..... | 39 |
| Figura 2 - O processo de mediação cognitiva. | 42 |
| Figura 3 - A evolução das formas de mediação. | 44 |
| Figura 4 - Características do funcionamento cognitivo em situações reais na TCC.. | 53 |
| Figura 5 - Detalhamento da arquitetura cognitiva de acordo com a Teoria Triárquica da Inteligência. | 54 |
| Figura 6 - Separação moderna entre os polos natureza e sociedade. | 55 |
| Figura 7 - Dimensão não-moderna para a multiplicação dos híbridos. | 60 |
| Figura 8 - Representação do processo de fusão termonuclear..... | 83 |
| Figura 9 - Esquema do processo <i>Report Aloud</i> | 106 |
| Figura 10 - Modelo didático para simulação do tecido espaço-tempo..... | 109 |
| Figura 11 - Interface do software Escala do Universo..... | 110 |
| Figura 12 - Interface do simulador Propriedade dos Gases. | 111 |
| Figura 13 - Interface do simulador virtual de fusão nuclear..... | 112 |
| Figura 14 - Interface do simulador virtual de fusão nuclear..... | 112 |
| Figura 15 - Interface do simulador virtual de fusão nuclear..... | 113 |
| Figura 16 - Interface do simulador virtual de fusão nuclear no interior do Sol..... | 114 |
| Figura 17 - Interface do simulador virtual de fusão nuclear no interior do Sol..... | 115 |
| Figura 18 - Interface do simulador virtual de fusão nuclear no interior do Sol..... | 115 |
| Figura 19 - Etapas da análise de conteúdo..... | 119 |
| Figura 20 - Gestos descritivos da ação da força gravitacional. | 122 |
| Figura 21 – Representação gestual da ausência da força da gravidade sobre o livro. | 122 |
| Figura 22 - Representação gestual descrevendo um corpo esférico. | 123 |
| Figura 23 - I. Representação gráfica da estudante no questionário inicial. II. Representação gráfica da estudante no questionário posterior. | 142 |
| Figura 24 - I. Movimentação das mãos aproximando-se como analogia ao comportamento das partículas durante a fusão nuclear e o dedo indicador sinalizando a movimentação dos produtos da fusão entre os núcleos. II. Verbalização da explicação do fenômeno. | 142 |
| Figura 25 - I. Representação gráfica da estudante no questionário inicial. II. Representação gráfica da estudante no questionário posterior. | 145 |

| | |
|--|-----|
| Figura 26 - I. (a) indicação com os dedos indicador e polegar do aspecto particular do átomo; (b) união das pontas dos dedos das mãos indicando a fusão entre as partículas; (c) e (d) abertura dos dedos indicando o espalhamento da energia liberada na fusão nuclear. II. Verbalização da explicação do fenômeno. | 145 |
| Figura 27 - I. Representação gráfica do estudante no questionário inicial. II. Representação gráfica do estudante no questionário posterior. | 147 |
| Figura 28 - Comparação entre a expressão verbal do estudante (I) com o <i>layout</i> do simulador virtual (II). | 147 |
| Figura 29 - I. Representação gráfica do estudante no questionário inicial. II. Representação gráfica do estudante no questionário posterior. | 149 |
| Figura 30 - I. (a) Junção das pontas dos dedos indicando a característica particular dos núcleos atômicos; (b) aproximação das mãos indicando a colisão entre os núcleos atômicos; (c) união dos dedos das mãos esquerda e direita indicando a fusão dos núcleos atômicos; (d) mãos abertas e afastadas descrevendo o espalhamento de energia após a colisão dos núcleos dos átomos. II. Verbalização da explicação do fenômeno. | 150 |
| Figura 31 - I. Representação gráfica do estudante no questionário inicial. II. Representação gráfica do estudante no questionário posterior. | 152 |
| Figura 32 - (a) Punhos fechados e agitados indicando a condição dos núcleos atômicos sob calor; (b) união dos dedos das mãos esquerda e direita indicando a fusão dos núcleos atômicos; (c) mão esquerda descrevendo a trajetória da partícula liberada após a fusão nuclear; (d) movimentação circular do dedo indicador da mão direita descrevendo a posição dos núcleos formados após a fusão nuclear. | 154 |
| Figura 33 - I. Representação gráfica do estudante no questionário inicial. II. Representação gráfica do estudante no questionário posterior. | 155 |
| Figura 34 - I. (a) Dedos indicadores e polegares descrevendo a característica particular dos núcleos atômicos; (b) aproximação das mãos indicando a colisão entre os núcleos atômicos; (c) união dos dedos das mãos esquerda e direita indicando a fusão dos núcleos atômicos; (d) mãos abertas e afastadas descrevendo o espalhamento de energia após a colisão dos núcleos dos átomos; (e) dedo indicador da mão direita descrevendo a trajetória da partícula liberada após a fusão dos núcleos. II. Verbalização da explicação do fenômeno. | 155 |

| | |
|---|-----|
| Figura 35 - I. Movimentação rápida do dedo indicador para os lados como analogia ao comportamento das partículas sob ação do calor no interior do Sol. II. Verbalização da explicação do fenômeno. | 157 |
| Figura 36 - I. Representação gráfica do estudante no questionário inicial. II. Representação gráfica do estudante no questionário posterior. | 158 |
| Figura 37 – (a) Mãos abertas e afastadas descrevendo a posição inicial dos núcleos atômicos; (b) aproximação das mãos descrevendo a trajetória de colisão dos núcleos atômicos; (c) união das pontas dos dedos das mãos para indicar a fusão nuclear. | 160 |
| Figura 38 - I. Representação gráfica do estudante no questionário inicial. II. Representação gráfica do estudante no questionário posterior. | 161 |
| Figura 39 – (a) e (b) Movimentos realizados com as mãos descrevendo a agitação inicial das partículas atômicas; (c) colisão dos punhos fechados para indicar a fusão nuclear. | 162 |
| Figura 40 - I. Representação gráfica do estudante no questionário inicial. II. Representação gráfica do estudante no questionário posterior. | 164 |
| Figura 41 - I. (a) Mãos afastadas descrevendo a condição inicial das partículas; (b) mãos se aproximando em referência à colisão entre as partículas; (c) mãos unidas indicando a fusão entre os núcleos atômicos. II. Verbalização da explicação do fenômeno. | 164 |
| Figura 42 - (a) Mãos curvadas descrevendo o movimento de afastamento das partículas em condições de velocidades baixas; (b) e (c) mãos côncavas em direção uma à outra descrevendo o movimento necessário para a colisão entre as partículas; (d) união das mãos indicando a fusão entre as partículas atômicas. | 166 |
| Figura 43 - I. (a) Dedo indicador próximo ao dedo polegar descrevendo o caráter particular do elemento em discussão; (b) Pontas dos dedos das mãos juntas e uma mão se afastando da outra descrevendo a liberação de partículas na fusão nuclear; (c) dedo indicador da mão direita descrevendo a trajetória da partícula liberada pela fusão nuclear. II. Verbalização da explicação do fenômeno. | 167 |
| Figura 44 - I. Representação gráfica do estudante no questionário inicial. II. Representação gráfica do estudante no questionário posterior. | 168 |
| Figura 45 - I. Movimentação rápida das mãos para os lados como analogia ao comportamento das partículas sob ação do calor no interior do Sol. II. Verbalização da explicação do fenômeno. | 168 |

| | |
|---|-----|
| Figura 46 - Representação gráfica do estudante no questionário posterior. | 170 |
| Figura 47 - Interrupção causada pela não tangibilidade do fenômeno físico no processo ensino-aprendizagem. | 174 |
| Figura 48 - Comparativo entre a descrição verbal do estudante com o <i>layout</i> do simulador virtual. | 177 |
| Figura 49 - Comparativo das representações mentais do estudante antes e após a mediação digital. | 178 |
| Figura 50 - Entrelaçamento de cursos de ação na produção de híbridos. | 179 |
| Figura 51 - Produção de híbridos na mediação digital. | 180 |
| Figura 52 - <i>Driver</i> hipercultural existindo enquanto associação de cursos de ação. | 181 |
| Figura 53 - Mudança da natureza do significado a partir da articulação entre cognição e computação extracerebral..... | 183 |
| Figura 54- Articulação de subprogramas na composição de um objetivo. | 185 |
| Figura 55 - Composições técnicas entre os atuantes da rede sociotécnica. | 186 |
| Figura 56 - Delegação como recrutamento de ações do <i>driver</i> hipercultural. | 189 |

LISTA DE GRÁFICOS

| | |
|---|-----|
| Gráfico 1 - Respostas da questão 01 do questionário inicial..... | 125 |
| Gráfico 2 - Respostas da questão 02 do questionário inicial..... | 125 |
| Gráfico 3 - Respostas da questão 03 do questionário inicial..... | 126 |
| Gráfico 4 - Respostas da questão 04 do questionário inicial..... | 126 |
| Gráfico 5 - Respostas da questão 05 do questionário inicial..... | 127 |
| Gráfico 6 - Respostas da questão 06 do questionário inicial..... | 127 |
| Gráfico 7 - Respostas da questão 07 do questionário inicial..... | 128 |
| Gráfico 8 - Respostas da questão 08 do questionário inicial..... | 129 |
| Gráfico 9 - Respostas da questão 09 do questionário inicial..... | 129 |
| Gráfico 10 - Respostas da questão 10 do questionário inicial..... | 130 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|--|-----|
| Quadro 1 - Aspectos qualitativamente diferentes na teoria vygotskiana. | 50 |
| Quadro 2 - Garantias constitucionais dos modernos..... | 59 |
| Quadro 3 - Garantias constitucionais dos não-modernos. | 62 |
| Quadro 4 - Conceitos de FMC previstos na BNCC. | 80 |
| Quadro 5 - Detalhamento da sequência didática utilizada nesta pesquisa. | 108 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|-------|--|
| BNCC | Base Nacional Curricular Comum |
| Capes | Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior |
| CN | Ciências da Natureza |
| CTS | Ciência, Tecnologia e Sociedade |
| ERIC | Education Resources Information Center |
| FMC | Física Moderna e Contemporânea |
| MEC | Ministério da Educação |
| PPGTE | Programa de Pós-Graduação em Tecnologia e Sociedade |
| PPP | Projeto Político Pedagógico |
| TAR | Teoria Ator-Rede |
| TCC | Teoria dos Campos Conceituais |
| TIC | Tecnologia de Informação e Comunicação |
| TMC | Teoria da Mediação Cognitiva em Rede |
| TTI | Teoria Triárquica da Inteligência |
| USAID | Agência Norte-Americana para a Educação |
| UTFPR | Universidade Tecnológica Federal do Paraná |
| WoS | Web of Science |
| ZDP | Zona de Desenvolvimento Proximal |

GLOSSÁRIO

Primeiramente é importante destacar que a pesquisa apresentada nos capítulos a seguir é resultado de conjunções teóricas de diferentes áreas do conhecimento e que, dessa forma, utiliza-se de palavras cujos valores semânticos podem não ser comuns. Apesar de estarem descritos ao longo do texto, julgamos necessário deixar claro, previamente, a partir de quais significados construímos as definições e os nossos argumentos. Isto posto, o glossário a seguir deve servir como referência na leitura da pesquisa.

DRIVER COGNITIVO: Na Teoria da Mediação Cognitiva em Rede (TMC), é o conjunto de mecanismos internos de um indivíduo, que possibilita o uso de estruturas externas como dispositivos auxiliares de processamento de informações. Esses mecanismos funcionam como "máquinas virtuais" internas que fornecem novas funcionalidades cognitivas (ferramentas lógicas, técnicas e estratégias), agregando vantagens que duram além da duração da "conexão" a um mecanismo externo, tendo um papel importante na modelagem da maneira como o pensamento ocorre. Por permitir o vínculo com os externos, mesmo na ausência destes, os mecanismos internos são comparados aos *softwares* de *drivers* de dispositivos instalados em um sistema computacional que reconhece uma peça específica de *hardware* externo, como uma impressora, por exemplo (CAMPELLO DE SOUZA, 2012).

HÍBRIDO: É o produto da associação de humanos e não humanos, também chamado de quase-objeto ou quase-sujeito, pois “não ocupa nem a posição de objetos que a Constituição [dos Modernos] prevê, nem a de sujeito, e porque é impossível encurralar todos eles na posição mediana que os tornaria uma simples mistura de coisa natural e símbolo social” (LATOUR, 2019a, p. 69). Assumimos, ainda, a definição construída por Cardoso (2018)

O híbrido, isto é, a mistura, algo como “mente-matéria” ou “matéria-mente”, aquilo que já estava “no meio do caminho” de uma tensão entre mente e matéria e a partir do qual, e na dependência das muitas interações que caracterizam sua dinamicidade, pode, ao fim de determinado tempo de ação, fazer emergir, então, as categorias da *res cogitans* [ideia] e *res extensa* [matéria] (CARDOSO, 2018, p. 150).

ACTANTE: Na Antropologia Simétrica, actante é o ator definido com base naquilo que ele faz, nos seus desempenhos. Latour utiliza o termo em inglês *actant*

(atuante) para designar tanto humanos quanto não humanos que desempenham alguma ação capaz de alterar ou permutar propriedades durante uma associação.

PROPOSIÇÃO: Latour assume a interpretação de Alfred North Whitehead sobre o termo proposição. Para esse autor, “proposições não são assertivas, nem coisas, nem algo de intermediário entre ambas. São, em primeiro lugar, atuantes” (LATOURE, 2017, p. 169). Neste ponto de vista, tanto os atores humanos quanto os não humanos são compreendidos como capazes de desempenhar ações de trocas de propriedades mútuas em um evento.

CAIXA-PRETA: Expressão utilizada para se referir a um fato estabelecido em que sua complexidade interna está obscurecida, uma vez que sua estabilização responde aos interesses externos.

MODO DE EXISTÊNCIA: Expressão utilizada por Latour para se referir às redes articuladas que sustentam a existência de um fato ou de um híbrido.

Prólogo

A docência em ciências da natureza é, por si só, uma atividade desafiadora. A sala de aula, local de confluência da diversidade étnico-cultural-material, assemelha-se a uma arena onde diferentes lutas são travadas na tentativa de construir subjetividades e coletividades *sui generis*. Nessa ágora contemporânea, encontra-se a pedra angular em que se projeta o sistema educacional para esse campo do saber: o processo ensino-aprendizagem de conceitos desenvolvidos e estabelecidos pela comunidade científica ao longo dos séculos.

Imerso nesse contexto desde o ano de 2006, sou produto inacabado de incontáveis encontros e desencontros, com pessoas, coisas, ideias, intermediários e mediadores que constituem a escola pública de educação básica.

Desse modo, antes de discorrer sobre a pesquisa realizada, considero relevante apresentar a partir de quais lentes ela foi construída. Porquanto, consciente de que não serão interpretadas como causas primeiras¹, o faço para que os rastros deixados por algumas articulações das proposições que me constituem como pesquisador sejam trazidos à luz e, assim, compreendam-se os tensionamentos que gestaram os objetivos e arquitetaram os resultados deste estudo.

Nasci e cresci em uma pequena e típica cidade do interior paranaense em um período marcado pela redemocratização do Brasil. Quarto filho de uma família de origens cearense e catarinense, estudei o Ensino Fundamental e Médio na única escola pública da cidade. A minha rede inicial intersecta a rede profissional a partir de 2002 ao ingressar na graduação em Licenciatura em Ciências na extinta Faculdade Estadual de Educação, Ciências e Letras de Paranaíba, hoje Universidade Estadual do Paraná. Os quatro anos do curso me permitiram conhecer os diversos nós que formam as redes estabelecidas pelas Ciências Naturais, apesar de manter inexplorados os traços que conectam esses nós. A Ciência se apresentou a mim como um conjunto de genialidades e manifestações naturais que encantam por sua positividade e por seu pragmatismo. E, produto de tal encantamento, inaugurei meu caminho na docência. Já distante fisicamente da pacata cidade do interior, residente

¹ Alusão ao homem normal descrito por Fiódor Dostoievski em *Memórias do subsolo*, o qual encontra nas causas mais próximas o fundamento indiscutível para sua ação e, dessa forma, se convence do resultado não conservando quaisquer dúvidas (DOSTOIEVSKI, Fiódor. **Memórias do subsolo**. São Paulo: Editora 34, 2009).

então na capital paranaense, lecionei Ciências da Natureza durante cinco anos em escolas estaduais de nível fundamental e médio do Paraná. Em 2010, iniciei a carreira de professor de Ciências na rede municipal de ensino de Curitiba, atuando exclusivamente nos anos finais do ensino fundamental. No ano seguinte, ainda embevecido pela Ciência e, entendendo a Tecnologia como sua aplicação, realizei minha pesquisa de mestrado em Ensino de Ciências na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, relacionando atividades de robótica educacional com a aprendizagem de conceitos da física newtoniana. Uma formação que, apesar de muito cartesiana, me permitiu vislumbrar conexões com redes até então desconhecidas.

Uma dessas redes é a área interdisciplinar. Em 2019, admitido para o doutorado no Programa de Pós-Graduação em Tecnologia e Sociedade, também na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, minha concepção da rede da ciência e da tecnologia teve uma expansão quase exponencial. As discussões nas disciplinas, as leituras, os seminários e todas as atividades acadêmicas trouxeram à luz o papel dos intermediários e dos mediadores que sustentam os fatos e artefatos desenvolvidos pelos processos relacionais nos coletivos. Ainda, as leituras e discussões fomentadas pelos encontros no Grupo de Pesquisa “Interdisciplinaridade, Mediação Tecnológica e Educação para as Ciências da Natureza”, ampliaram os pontos de intersecções entre minha rede profissional, a rede da educação pública e a rede da ciência e da tecnologia.

Radicado, então, no contexto interdisciplinar, num universo que, por vezes, se apresentou a mim como caótico e disforme, a inquietação sobre como estudar um problema complexo que não encontra explicação suficiente na seara disciplinar, objeto de estudo desta pesquisa, cresceu substancialmente. Cabe destaque, aqui, às muitas e densas conversas, provocações e discussões trazidas pelo orientador desta pesquisa, as quais fundamentam a arquitetura teórica e metodológica assumida. Durante os anos do doutorado, muitas horas de encontros de orientações foram marcados pelas trocas e diálogos que construíram um novo platô de onde pudemos enxergar alguns desafios da educação científica através de uma perspectiva menos estanque nas ontologias e mais contínua nas mediações. É a partir de então, que os *Science Studies*, mais especificamente a Antropologia Simétrica do Conhecimento Científico começa a moldar os caminhos que escolhi seguir.

Com um estilo provocador e mal compreendido por ser avesso aos princípios fundamentais da tradição sociológica ocidental moderna, os estudos etnográficos da

ciência de Bruno Latour (1947-2022) se apresentaram como alternativas bastante férteis para uma análise mais profunda da intrínseca relação entre a construção de conceitos não sensoriais da física contemporânea, a mediação tecnológica no processo ensino-aprendizagem de tais conceitos e suas relações cognitivas em estudantes do ensino fundamental de uma escola pública.

Interessado na dissolução das fronteiras ontológicas entre sociedade e natureza, Latour se dedica a compreender os diferentes modos de existência e de estabilização dos conhecimentos científicos nos coletivos modernos. Nesse sentido, torna-se imperativo assumir as palavras de Cardoso (2015) ao argumentar que “além de compreender a condição moderna, o leitor de Latour deve ser capaz de entender o ponto de vista utilizado para se estudar o moderno (o da antropologia simétrica)” (CARDOSO, 2015, p. 242), que é desenvolvido ao longo do texto que se segue.

Destarte, é assentado nessa construção que desenvolvo esta pesquisa. Ao entrar em contato com suas bases teóricas e metodológicas, com os dados coletados e suas análises, o leitor perceberá que não há como separar as mediações dos híbridos. É, portanto, a partir dessa chave de interpretação, isto é, do compromisso com o campo relacional dos processos de associação entre os diferentes atores, que esta pesquisa deve ser lida. Almejo, assim, descortinar as ações dos mediadores na expansão da rede da ciência contemporânea para o campo educacional.

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 23 |
| 2 DA TEORIA DOS MODELOS MENTAIS, PASSANDO PELA TEORIA DA MEDIAÇÃO COGNITIVA EM REDE ATÉ A CONCEPÇÃO NÃO MODERNA DE BRUNO LATOUR | 32 |
| 2.1 MODELOS MENTAIS | 32 |
| 2.1.1 Representações Proposicionais | 34 |
| 2.1.2 Modelos Mentais e Imagens Mentais | 35 |
| 2.2 TEORIA DA MEDIAÇÃO COGNITIVA EM REDE (TMC) | 39 |
| 2.2.1 Evolução Cognitiva e Formas de Mediação | 43 |
| 2.2.2 A Hipercultura e a Mediação Digital | 45 |
| 2.2.3 Bases Teóricas da TMC | 48 |
| 2.3 NÃO-MODERNIDADE LATOURIANA | 55 |
| 2.3.1 Coletivo de humanos e não-humanos e os conceitos de mediação técnica em Latour | 65 |
| 2.3.2 Construção científica | 67 |
| 2.3.3 Como assumimos a concepção latouriana nesta pesquisa? | 71 |
| 3 FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA: CONSIDERAÇÕES NA EDUCAÇÃO CIENTÍFICA DO ENSINO FUNDAMENTAL II E NA LEGISLAÇÃO NACIONAL | 73 |
| 3.1 Física Moderna e Contemporânea na literatura de ensino | 73 |
| 3.2 Física Moderna e Contemporânea na Bases Nacional Comum Curricular do Ensino Fundamental II | 77 |
| 3.3 O CONCEITO DE FUSÃO NUCLEAR | 81 |
| 4 REVISÃO DA LITERATURA | 85 |
| 4.1 SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS NO ENSINO DE CIÊNCIAS | 86 |
| 4.2 TEORIA DA MEDIAÇÃO COGNITIVA EM REDE NO ENSINO DE CIÊNCIAS .. | 89 |
| 4.3 BRUNO LATOUR E O ENSINO DE CIÊNCIAS | 93 |
| 4.4 ALGUMAS CONSIDERAÇÕES SOBRE OS TRABALHOS PESQUISADOS | 97 |
| 5 METODOLOGIA | 99 |
| 5.1 CLASSIFICAÇÃO FORMAL DA PESQUISA | 99 |
| 5.2 TESTE-PILOTO | 102 |
| 5.3 INSTRUMENTOS DE COLETA DE DADOS | 103 |
| 5.3.1 Questionários Inicial e Posterior | 103 |
| 5.3.2 Entrevistas Semiestruturadas | 104 |
| 5.4 PRODUÇÃO DOS DADOS | 106 |
| 5.4.1 Dados Iniciais | 106 |
| 5.4.2 Movimentos pedagógicos | 107 |
| 5.4.3 Dados Posteriores | 117 |

| | |
|--|------------|
| 5.5 ANÁLISE DOS DADOS..... | 117 |
| 5.5.1 Análise de Conteúdo | 117 |
| 5.5.1.1 Construção das Categorias de Análise de Conteúdo | 118 |
| 5.5.2 Análise Gestual Descritiva..... | 120 |
| 5.6 APLICAÇÃO DA PESQUISA..... | 123 |
| 5.6.1 Ambiente da Pesquisa..... | 124 |
| 5.6.2 Sujeitos Pesquisados | 124 |
| 6 APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS..... | 131 |
| 6.1 PROCESSAMENTO EXTRACEREBRAL E CLASSES DE REPRESENTAÇÕES MENTAIS | 131 |
| 6.1.1 Resultados e análise dos áudios capturados durante as aulas..... | 131 |
| 6.1.2 Resultados e análise dos questionários e das entrevistas individuais | 141 |
| 7 HIBRIDAÇÃO COGNITIVA: LEITURA DOS RESULTADOS A PARTIR DA ANTROPOLOGIA SIMÉTRICA LATOURIANA..... | 172 |
| 7.1 Mecanismos cognitivos enquanto modo de existência híbrido..... | 172 |
| 7.2 A atividade pedagógica com uso de TIC enquanto mediadora técnica | 182 |
| 8 CONSIDERAÇÕES FINAIS | 190 |
| REFERÊNCIAS..... | 196 |
| APÊNDICE 01 - QUESTIONÁRIO INICIAL - ESTUDANTES..... | 216 |
| APÊNDICE 02 - QUESTIONÁRIO POSTERIOR - ESTUDANTES..... | 219 |
| APÊNDICE 03 - TERMO DE ASSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TALE) / TERMO DE CONSENTIMENTO PARA USO DE IMAGEM E SOM DE VOZ (TCUISV)..... | 220 |
| APÊNDICE 04 - TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)/ TERMO DE CONSENTIMENTO PARA USO DE IMAGEM E SOM DE VOZ (TCUISV)..... | 223 |
| APÊNDICE 05 - DECLARAÇÃO DE CIÊNCIA DE INTERESSE DE CAMPO DE PESQUISA..... | 227 |

1 INTRODUÇÃO

Ensinar e aprender de forma sistêmica são processos que participam de toda a história evolutiva do ser humano e o distingue dos demais organismos do planeta. Apesar disso, pesquisas científicas que têm a Educação como objeto de estudo não têm uma história muito longa se comparada às demais áreas do conhecimento como, por exemplo, a Astronomia, a Física, a Química e a Matemática. Nas palavras de Prado (2019, p. 17), “há muito tempo se ensina, mas há pouco mais de um século nos dedicamos a pensar cientificamente em como ensinar e há menos tempo ainda em como aprender”. Deste modo, por se tratar de um campo que investiga as diferentes conexões entre humanos e o restante do mundo que estão constantemente em desenvolvimento, torna-se improvável o esgotamento de seus temas de investigação.

No campo da Educação Científica, as construções teóricas do célere desenvolvimento científico fomentado pelas estruturas sociopolíticas contemporâneas, desafiam ainda mais a atividade pedagógica na escola básica. Isto porque, os novos conhecimentos produzidos sobre estruturas microscópicas, como o caso da Mecânica Quântica, e de escalas astronômicas, como a Teoria da Relatividade, exigem a construção de representações mentais cada vez mais abstratas e sofisticadas, se comparadas às utilizadas para representar fenômenos da ciência newtoniana, por exemplo. Nas publicações acadêmicas dessa área, alguns caminhos assumidos por pesquisadores mostram a importância dos aspectos históricos, sociais e culturais que sustentam a estrutura das produções científicas como subsídio argumentativo em uma educação científica crítica. Outros, expõem a participação de diferentes recursos didáticos, sejam lúdicos, metodológicos ou digitais, como ferramentas que mediam ou intermediam o processo de ensinar-aprender em sala de aula. Em comum, constata-se a dificuldade dos estudantes em compreender, estruturar e internalizar os conceitos científicos trabalhados.

Na contemporaneidade, com maior participação dos artefatos digitais no contexto educacional, a mediação tecnológica também vem assumindo papel central nas discussões sobre o ensino-aprendizagem nas diferentes etapas da educação formal. De maneira congruente com as demais áreas do conhecimento, no ensino de ciências a mediação tecnológica é entendida como potencializadora pedagógica na complexidade do mundo contemporâneo.

Assim, as grandes transformações associadas ao desenvolvimento tecnológico, além de implicações nas relações de produção, na sociedade e na cultura (BRYNJOLFSSON; McAFEE, 2011), influem significativamente na geração e na manipulação do conhecimento (CAMPELLO DE SOUZA, 2004; 2006). De forma mais marcante, as gerações emergentes e imersas nesse contexto em que são desenvolvidos e produzidos diversos artefatos digitais, tendem a apresentar diferenças cognitivas substanciais em relação às anteriores (CAMPELLO DE SOUZA, 2004).

Nesse universo, abre-se caminho para novas possibilidades de manipulação de informações produzidas pelos coletivos das ciências no âmbito educacional. As tecnologias na educação possibilitam o acesso a uma quantidade maior de informações em um menor intervalo de tempo, desafiando assim os métodos de ensino tradicionalmente estruturados em exposição oral do professor e uso de livros didáticos (ROLIAK, 2019).

Em vista disso, a Base Nacional Comum Curricular (BNCC), documento do Ministério da Educação (MEC) que visa unificar a base curricular das escolas brasileiras, explicita a importância de considerar o universo dinâmico das tecnologias em que os estudantes estão inseridos (BRASIL, 2017). Segundo esse documento, “os jovens têm se engajado cada vez mais como protagonistas da cultura digital, envolvendo-se diretamente em novas formas de interação multimidiática e multimodal e de atuação social em rede”. (BRASIL, 2017, p. 61). No caso específico do ensino de ciências, além de fomentar as discussões sobre os “fenômenos e processos relativos ao mundo natural, social e tecnológico (incluindo o digital), como também as relações que se estabelecem entre eles” (BRASIL, 2017, p. 324), a BNCC expõe como competência a utilização de diferentes tecnologias de informação e comunicação (TIC) para acesso, disseminação e produção de conhecimentos científicos (BRASIL, 2017).

Seguindo essa linha de desenvolvimento, dentre as diferentes TIC disponíveis para o ensino de ciências na escola básica, os simuladores virtuais são considerados vantajosos no campo da economia e do tempo uma vez que dispensam a utilização de laboratórios e equipamentos técnicos sofisticados para a representação de fenômenos tanto macroscópicos quanto microscópicos. Entendendo que “as simulações podem ser vistas como representações ou modelagens de objetos específicos, reais ou imaginados, de sistemas ou fenômenos” (GUILLERMO et al.,

2005, p. 3), este tipo de recurso é estudado por diversos pesquisadores da área de ensino de ciências da natureza.

Ainda que as simulações virtuais no processo ensino-aprendizagem de Física sejam objeto de estudo de diversos pesquisadores no Brasil, as publicações concentram-se, principalmente, em duas vertentes: no engajamento e interatividade das atividades simuladas e na visualização gráfica dos conteúdos abordados. Entretanto, de acordo com uma revisão da literatura realizada por Silva et. al. (2022), metade das publicações observadas não se estruturam em nenhuma teoria de aprendizagem ou em algum referencial epistemológico.

Em nossa compreensão, qualquer ação pedagógica sistemática deve estar atrelada a algum referencial teórico de ensino-aprendizagem construído pelo coletivo da ciência, seja ele sociointeracionista, construtivista, cognitivista ou suas derivações conceituais. Isto porque, consideramos que qualquer tipo de relação ou associação entre pessoa-pessoa ou pessoa-objeto ou, ainda, pessoa-objeto-pessoa, em que se objetiva a produção e apropriação de conhecimentos, se configura como uma atividade complexa e heterogênea.

Aliás, compreendemos ainda, que os processos cognitivos envolvidos no contexto de ensino-aprendizagem de Ciências da Natureza moldam a forma como os sujeitos veem e interpretam os fenômenos e o mundo que os cercam. Dessa maneira, explorar os mecanismos internos e externos de cognição a partir das conexões estabelecidas entre o sujeito e o contexto, pode contribuir para a aquisição e apropriação do conhecimento científico de forma mais coerente com o conceito estabelecido pelo coletivo da ciência.

Nesse âmbito, a Teoria da Mediação Cognitiva em Rede (TMC) se apresenta como uma abordagem contextualista, construtivista e de processamento de informações, partindo de conceitos e pesquisas procedentes da Epistemologia Genética, do Socio-construtivismo, da Teoria dos Campos Conceituais e da Teoria Triárquica da Inteligência com o intuito de fornecer uma visão ampla da cognição humana em que parte do processamento de informações ocorre fora do cérebro (CAMPELLO DE SOUZA, 2004, 2006; CAMPELLO DE SOUZA *et al.*, 2012). Assim, a TMC admite que o cérebro humano sozinho é incapaz de prover às necessidades de processamento de informações e esta limitação leva à conclusão de que, para que a humanidade tenha conseguido sobreviver e se multiplicar ao longo de seu processo evolutivo, existe uma ampliação da capacidade cognitiva que decorre do

processamento de informações externamente ao cérebro humano (CAMPELLO DE SOUZA, 2004).

Por estruturar seus argumentos na limitação do cérebro humano e na utilização de mecanismos externos como complemento para o processamento de informações, a TMC fornece subsídios teóricos para os estudos acadêmicos voltados à interação entre humanos e artefatos digitais. No campo do ensino de ciências da natureza, a TMC tem fundamentado diversas pesquisas que investigam a influência de mecanismos virtuais nas construções e modificações de representações mentais de estudantes de diferentes etapas da educação formal.

Em vista de toda essa explanação, esta pesquisa que apresentamos parece tratar do processo ensino-aprendizagem de ciências da natureza com estudantes do ensino fundamental mediado por TIC. E é. Afinal, como argumentamos antes, pesquisas que visam as relações de ensino e aprendizagem não apresentam possibilidade de esgotamento temático. Entretanto, até então, tanto o ensino quanto a aprendizagem mediada por TIC são objetos de estudos que compreendem a relação estudante-TIC como atores distintos, com fronteiras ontológicas bem demarcadas, conforme apresentamos na revisão da literatura. Esse pensamento, como será discutido no referencial teórico desta pesquisa, é produto do estabelecimento cartesiano do *cogito*² que estruturou toda a Ciência Moderna e, depois, a Ciência Pós-Moderna. O que propomos neste trabalho é uma guinada na perspectiva de análise dessas interações entre humanos e não humanos a partir do desenvolvimento teórico dos *Science Studies*, particularmente na simetria generalizada proposta por Bruno Latour, uma vez que acreditamos que a ruptura ontológica entre sociedade e natureza da modernidade obscurece a ação de actantes híbridos na construção do conhecimento.

Na perspectiva dos *Science Studies*, considerados nesta pesquisa a partir dos pressupostos da antropologia simétrica latouriana, tanto a sociedade quanto a natureza, e conseqüentemente a produção científica, ganharam uma nova configuração: de maneira oposta às marcações ontológicas da modernidade, todos

² O termo "*cogito*" refere-se a uma das frases mais influentes da filosofia moderna, cunhada pelo filósofo francês René Descartes. A frase completa é "*Cogito, ergo sum*", que em latim significa "Penso, logo existo". Essa afirmação é considerada o ponto de partida do pensamento cartesiano e tem um significado profundo na constituição da modernidade sob a perspectiva de Bruno Latour, uma vez que estabelece a ruptura ontológica entre natureza e sociedade.

devem ser entendidos como produtos híbridos da coletividade de actantes. Isto é, os estudos devem considerar as associações entre diferentes actantes que constroem as redes que sustentam a realidade, tanto dos fatos científicos, quanto da construção da aprendizagem desses fatos em sala de aula, objeto de estudo desta pesquisa.

Depois da síntese dos temas que envolvem este estudo e sintetizando com vistas à articulação dos mesmos, no contexto desta pesquisa, pensar a relação estudante-TIC como construto compósito (assumindo os pressupostos da simetria latouriana), portanto, exige romper com a ideia de que humanos e não humanos são seres ontologicamente distintos e, dessa forma, capazes de explicar, isoladamente, o sucesso ou o fracasso da aprendizagem. Desta forma, com a intenção não apenas de compreender a mediação tecnológica como ferramenta didática no ensino-aprendizagem de ciências da natureza (que encontra subsídios teóricos na TMC), mas partir da concepção não moderna de hibridação, isto é, na exploração das associações de actantes nos construtos cognitivos envolvidos no processo ensino-aprendizagem mediado por TIC, a presente pesquisa buscou responder a seguinte questão:

Como a mediação digital no processo de ensino-aprendizagem dos conceitos de Física Moderna de estudantes do 9º ano do ensino fundamental estabelece a produção de mecanismos híbridos de cognição entre humanos e não humanos, à luz da simetria generalizada de Bruno Latour?

Em decorrência desta problematização e com a atenção em abordar a totalidade dos aspectos microestruturais do objeto de estudo, assumimos os seguintes pressupostos que direcionaram a linha investigativa e as estratégias de pesquisa e análises:

Pressuposto 1: O processo ensino-aprendizagem é uma atividade complexa de relações entre diferentes actantes, cujos mecanismos cognitivos dependem do processamento de informações interna e externamente ao cérebro humano. O produto desse processo visa o estabelecimento de novas conexões simbólico-materiais a partir da extensão da rede de proposições que sustentam os conceitos científicos coletivamente construídos.

Pressuposto 2: O conceito de fusão nuclear, tópico curricular abordado neste estudo, assim como os demais conceitos construídos pela ciência contemporânea, é

produto dos coletivos avançados na concepção latouriana de não-modernidade, isto é, com maior proliferação de híbridos. Dessa forma, para sua apreensão conceitual faz-se necessária a tradução da associação de subprogramas de ações entre humanos e não-humanos como recurso metodológico na atividade de ensino.

Pressuposto 3: A mediação digital no processo ensino-aprendizagem do conceito de fusão nuclear no ensino fundamental altera o tipo de mecanismo externo ao cérebro humano utilizado pelos estudantes e, esta alteração, liberando espaço na carga cognitiva do indivíduo (CAMPELLO DE SOUZA, 2004), contribui para a criação de representações mentais mais sofisticadas. Vale-se, nesta presunção, de que os humanos envolvidos no processo de mediação digital, caracterizam-se enquanto redes articuladas com os mecanismos digitais.

Pressuposto 4: Considerando a categorização de representações mentais propostas por Johnson-Laird (1983), a saber, proposições, modelos mentais e imagens mentais, onde “representações proposicionais são cadeias de símbolos que correspondem à linguagem natural, modelos mentais são análogos estruturais do mundo e imagens são modelos vistos de um determinado ponto de vista” (JOHNSON-LAIRD, 1983, p. 165, tradução nossa), as representações mentais são manifestações da composição de processamentos de informações interna e externamente ao cérebro humano, o que caracteriza uma associação heterogênea de subprogramas de ação.

Pressuposto 5: Considerando que as representações mentais construídas após a mediação do processo ensino-aprendizagem são coerentes com o conteúdo e com a dinâmica estabelecidas pelo conhecimento científico contemporâneo, admite-se que estas configuram-se como evidências da aprendizagem conceitual.

Tomando como base esses pressupostos e procurando responder à questão proposta, consolidou-se como objetivo geral da pesquisa analisar, a partir do princípio de simetria generalizado de Bruno Latour, os movimentos de hibridação cognitiva entre humanos e não humanos no processo ensino-aprendizagem mediado por tecnologias digitais de informação e comunicação do conceito de fusão nuclear de estudantes do 9º ano do ensino fundamental.

Para assegurar o objetivo geral, definiu-se conduzir a pesquisa com os seguintes objetivos específicos:

- i. Identificar os mecanismos extracerebrais utilizados pelos estudantes após a mediação digital no processo ensino e aprendizagem do conceito de fusão nuclear à luz da TMC;

- ii. Identificar e classificar as representações mentais dos estudantes sobre após a mediação digital;
- iii. Relacionar os mecanismos extracerebrais utilizados com as representações mentais surgidas;
- iv. Interpretar as alterações cognitivas ocorridas à luz do princípio de simetria generalizado de Bruno Latour.

Por apresentar aspectos interdisciplinares de psicologia cognitiva, processo ensino-aprendizagem, *Science Studies* (em especial o princípio de simetria generalizado de Bruno Latour), esta pesquisa amparou-se num referencial teórico que trata das questões: 1) sobre as formas de representações mentais construídas internamente pelos humanos; 2) sobre o papel dos artefatos como processadores de informações extracerebrais; 3) sobre como a associação e a tradução de diferentes actantes constroem novos seres quase-sujeitos ou quase-objetos sob a perspectiva de não-modernidade latouriana.

Além da **Introdução**, que apresenta um panorama geral sobre o tema, o problema e os objetivos da pesquisa, este estudo é composto por mais sete capítulos assim divididos:

Da Teoria dos Modelos Mentais, passando pela Teoria da Mediação Cognitiva em Rede até a concepção não moderna de Bruno Latour: descreve e detalha as teorias de base que sustentam todo o edifício desta pesquisa. Inicialmente, apresenta-se a Teoria dos Modelos Mentais e sua descrição da capacidade do cérebro de construir um modelo de mundo, preservar isso na memória, fazer suas previsões com base nesse modelo e atualizá-lo de forma dinâmica e permanente. Na sequência, descreve-se a Teoria da Mediação Cognitiva em Rede (TMC) e suas implicações no entendimento dos movimentos cognitivos estruturados a partir de mecanismos externos de mediação. Por fim, apresenta a concepção não-moderna de Bruno Latour e suas implicações nos campos sociológicos e antropológicos da ciência e da coletividade entre humanos e não humanos.

Física Moderna e Contemporânea – Considerações na Educação Científica do Ensino Fundamental II e na Legislação Nacional: apresenta um panorama de como os conceitos da Física Moderna e Contemporânea são abordados na educação científica de nível fundamental a partir de resultados de pesquisas da área de ensino-aprendizagem de ciências da natureza, além da sua previsão legal

estabelecida pela Base Nacional Comum Curricular (BNCC). Por fim, discute-se, brevemente, o conceito de fusão nuclear, tema investigado nesta pesquisa.

Revisão da literatura: apresenta uma síntese da literatura acadêmica disponível nas bases de dados sobre as vertentes metodológicas assumidas por pesquisadores nos últimos anos acerca dos temas abordados nesta pesquisa: simulações computacionais no ensino de ciências; Teoria da Mediação Cognitiva em Rede e ensino de Ciências; e Antropologia Simétrica de Bruno Latour no ensino de Ciências.

Metodologia: descreve os caminhos metodológicos assumidos nesta pesquisa. São apresentados a classificação formal da pesquisa, o teste piloto, o ambiente e os sujeitos pesquisados, os instrumentos de coleta de dados, a sequência de produção dos dados e a metodologia de análise dos resultados.

Apresentação, análise e discussão dos resultados: são apresentados os resultados dos dados coletados, a discussão teórica sobre eles e suas análises a partir das teorias de base desta pesquisa.

Hibridação cognitiva – leitura dos resultados a partir da Antropologia Simétrica Latouriana: apresenta a discussão dos resultados a partir da concepção não moderna de Bruno Latour e suas implicações na produção de mecanismos híbridos.

Considerações finais: apresenta as considerações construídas a partir das análises realizadas, bem como sugestões para novas pesquisas.

Por fim, cabe destacar a relevância desta pesquisa para o desenvolvimento do conhecimento científico vinculado ao âmbito institucional. Estabelecida na Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) a pesquisa demonstra elevado alinhamento com os objetivos do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia e Sociedade (PPGTE) ao propor a investigação das implicações decorrentes das mudanças tecnológicas ao longo da história do humano em sua construção e reconstrução ordinária enquanto humano. Além disso, este estudo se adere aos pressupostos da linha de pesquisa Mediações e Culturas (MC) ao considerar as alterações de caráter humano como resultados das diversas relações mediativas (materiais ou simbólicas) (PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA E SOCIEDADE, 2019). Além disso, o Grupo de Pesquisa – Interdisciplinaridade na Mediação Tecnológica e Educação para as Ciências da Natureza – onde se insere este trabalho e o seu orientador no PPGTE, estrutura-se nas discussões envolvendo

mediações tecnológicas e relações de ensino e aprendizagem no Ensino de Ciências, bem como o desenvolvimento de projetos envolvendo a transposição didática de temas relacionados ao ensino e aprendizagem de Física Moderna e Contemporânea.

2 DA TEORIA DOS MODELOS MENTAIS, PASSANDO PELA TEORIA DA MEDIAÇÃO COGNITIVA EM REDE ATÉ A CONCEPÇÃO NÃO MODERNA DE BRUNO LATOUR

Neste capítulo, que teve parte do texto extraído de um artigo publicado pelo autor no Caderno Brasileiro de Ensino de Física (ZANATTA; SAAVEDRA FILHO, 2020), são descritas as bases teóricas que sustentam este trabalho: parte-se da teoria dos Modelos Mentais de Johnson-Laird, seguido pela da Teoria da Mediação Cognitiva em Rede de Campello de Souza e, por fim, da concepção não moderna de Bruno Latour.

2.1 MODELOS MENTAIS

Por várias décadas a natureza das representações mentais é debatida em diversos campos da ciência, com destaque para a ciência cognitiva, a inteligência artificial, a filosofia e a neurociência (PEARSON; KOSSLYN, 2015). Episódios como o insucesso do behaviorismo predominante na década de 1950, uma nova visão sobre a natureza da ciência e o desenvolvimento do computador digital foram fatores que influenciaram na discussão sobre o funcionamento da cognição humana (EYSENCK; KEANE, 1994). Para Pearson *et al.* (2015), as representações mentais têm sido consideradas como um dos principais eventos da mente humana que atribui ao indivíduo a capacidade de lembrar fatos e sensações, planejar o futuro, se localizar e tomar decisões, além de desempenhar um papel importante nas análises de distúrbios da saúde mental.

Uma representação mental é, então, uma construção cognitiva, pois se refere à capacidade do organismo de construir um modelo de mundo, preservar isso na memória, fazer suas previsões com base nesse modelo e atualizá-lo a partir dos erros de previsão (ARNTZ, 2020). Ainda, “uma representação é uma notação ou sinal ou conjunto de símbolos que *re-presenta* algo para nós, ou seja, ela representa alguma coisa na ausência desta coisa; geralmente, essa coisa é um aspecto do mundo externo ou de nossa imaginação” (EYSENCK; KEANE, 1994, p. 180). Além disso, de

acordo com esses autores, as representações mentais podem ser classificadas em dois tipos, a saber, representações analógicas e representações proposicionais.

Representações analógicas tendem a ser imagens que podem ser visuais, auditivas, olfativas, tácteis ou cinéticas. Representações proposicionais são representações semelhantes à linguagem que captam os conteúdos ideacionais da mente, independentemente da modalidade original na qual a informação foi encontrada. [...] Representações analógicas não são individuais, podem representar implicitamente as coisas, têm regras de combinação não muito rígidas e são concretas no sentido de que estão ligadas a uma modalidade específica dos sentidos. Representações proposicionais são individuais, explícitas, combinam-se de acordo com regras e são abstratas (EYSENCK; KEANE, 1994, p. 183).

As imagens construídas a partir dos órgãos sensitivos são exemplos de representações analógicas. Já as representações proposicionais são do tipo-linguagem da mente, “mentais”, que não se relaciona com a língua nem com a modalidade de percepção (MOREIRA, 1996). Os debates sobre os tipos de representações cognitivas (analógicas e proposicionais) ainda não alcançou um consenso entre os pesquisadores da área. As linhas concorrentes procuram por respostas mais conclusas e precisas para as questões referentes à obtenção do conhecimento, seu processamento e sua utilização subsequente (WOLFF, 2015). Segundo Eysenck e Keane (1994) um dos principais críticos da representação mental de forma analógica é o cientista cognitivo canadense Zenon Pylyshyn. De acordo com esses autores, Pylyshyn postula que todos os fenômenos atribuídos às imagens mentais podem ser explicados de forma mais satisfatória a partir de uma estrutura exclusivamente proposicional. Entretanto, arautos do imagismo, como Allan Paivio e Stephen Kosslyn, contra argumentam afirmando que a imagem mental de um objeto se assemelha à relação da percepção do objeto e à representação da imagem (EYSENCK; KEANE, 1994; WOLFF, 2015).

Nesse íterim, uma terceira possibilidade de construto representacional, denominada modelos mentais, ganhou visibilidade especialmente a partir da publicação da obra de Philip N. Johnson-Laird com mesmo título *Mental Models*, em 1983. Na sua teoria, Johnson-Laird identifica três tipos de construções representativas: proposições, imagens e modelos mentais (JOHNSON-LAIRD, 1983). De acordo com esse autor, a teoria dos modelos mentais se sustenta a partir de três pressupostos: 1) cada modelo mental representa o que é comum a um conjunto distinto de possibilidades; 2) os modelos mentais são icônicos (imagísticos, mas

também estados de coisas que não podem ser visualizados, abstratos); 3) os modelos mentais de descrições representam o que é verdadeiro em detrimento do que é falso (JOHNSON-LAIRD, 2010).

Alguns estudos recentes da neurociência apontam que a utilização de padrões neurais na construção de representações mentais de fenômenos físicos ocorre a partir da reutilização de padrões neurais pré-existentes (BROCKINGTON, 2021), isto porque, para cada conceito físico, existe uma ativação cerebral comum entre os humanos. Dessa forma, as representações mentais construídas, mesmo que provisoriamente, participam ativamente da estruturação ou reestruturação de novas representações semânticas.

Para os propósitos desta pesquisa, adota-se, portanto, as classificações de representações mentais propostas por Johnson-Laird, que são descritas a seguir.

2.1.1 Representações Proposicionais

Sobre representações proposicionais, Johnson-Laird utiliza uma definição que se aproxima daquela utilizada pelos filósofos, a saber, “os objetos conscientes do pensamento – aquelas entidades que entretemos, acreditamos, pensamos, duvidamos, etc., e que são expressas por frases da linguagem natural” (JOHNSON-LAIRD, 1983, p. 155, tradução nossa). Essa definição é importante para compreender os argumentos desse autor, pois, nesta perspectiva, tem-se a representação proposicional como uma representação mental de uma proposição que pode ser revelada de forma verbal, porém sem fazer parte de um modelo mental. Para ele “as representações proposicionais são interpretadas em relação a modelos mentais: uma proposição é verdadeira ou falsa em relação a um modelo mental de um estado de coisas do mundo” (MOREIRA, 1996, p. 195).

As proposições também podem se referir a mundos imaginários ou hipotéticos. Uma proposição pode ser falsa para esse mundo, uma vez que outras são verdadeiras. Evidentemente, os seres humanos podem construir modelos mentais por atos de imaginação e relacionar proposições a esses modelos. Uma tese desta teoria é que a semântica da linguagem mental mapeia representações proposicionais em modelos mentais de mundos reais ou imaginários: as representações proposicionais são interpretadas com relação aos modelos mentais (JOHNSON-LAIRD, 1983, p. 156, tradução nossa).

Para Johnson-Laird, as proposições como descrições linguísticas, normalmente são indeterminadas, descrevendo muitos diferentes estados de coisas possíveis (JOHNSON-LAIRD, 1983). Por exemplo, a proposição “Pedro sentou-se para assistir futebol na televisão” é verdadeira para Pedro sentado no sofá, Pedro sentado no chão, Pedro na sala de estar, Pedro na cozinha, Pedro em um quarto e assim por diante. As representações proposicionais caracterizam-se por esse tipo de irresolução. Este tipo de representação difere substancialmente dos modelos mentais, uma vez que estes últimos se tornam específicos por meio de várias inferências e processos de compreensão. Deste modo, o modelo mental para “Pedro sentou-se para assistir futebol na televisão” exprimiria um determinado indivíduo, sentado em um local específico (EYSENCK; KEANE, 1994).

2.1.2 Modelos Mentais e Imagens Mentais

Johnson-Laird propõe que o raciocínio humano se dá com base em modelos mentais e que estes são como “blocos de construção cognitivos que podem ser combinados e recombinaados conforme necessário” (MOREIRA, 1996, p. 195). Deste modo, um modelo mental é constituído de “*tokens*” (elementos) e relações que refletem um estado de coisas específico de um sistema físico, organizados adequadamente à sua operação mental (MOREIRA, 1996). Segundo Eysenck e Keane,

os modelos mentais incluem diversos graus de estruturas analógicas. Em alguns casos, o modelo poderá ser espacialmente analógico ao mundo na medida em que captura *layouts* bi e tridimensionais; ele poderá representar analogamente a dinâmica de uma sequência de eventos. As propriedades essenciais dos modelos mentais são que eles são analógicos, específicos e concretos (pois representam entidades específicas) (EYSENCK; KEANE, 1994, p. 210).

Existe evidentemente uma relação entre imagens e modelos mentais, no sentido de que as imagens correspondem a visões de modelos; como resultado da percepção ou da imaginação, as imagens representam as características perceptíveis dos objetos do mundo real correspondente (JOHNSON-LAIRD, 1983). Johnson-Laird argumenta ainda que as imagens e os modelos mentais são representações de alto nível que são fundamentais para a compreensão da cognição humana (EYSENCK;

KEANE, 1994) e que, em termos de conteúdo, se diferem substancialmente das representações proposicionais no sentido de que os modelos e as imagens mentais são altamente específicos. Os modelos mentais, então, teriam como principal atribuição permitir a explicação e realizar previsões sobre o sistema físico analogicamente representado (MOREIRA, 1996).

Entretanto, mesmo que a representação analógica seja essencial e, em alguns casos, o bastante para a construção de um modelo mental, as imagens e os modelos se diferenciam na medida em que imagens representam aspectos particulares em relação a algo, enquanto um modelo mental pode ser caracterizado como uma representação mais ampla e genérica (VIEIRA JUNIOR; COLVARA, 2010). Assim, “modelos mentais são análogos estruturais do mundo e imagens são os correlatos perceptivos de modelos de um determinado ponto de vista” (JOHNSON-LAIRD, 1983, p. 165, tradução nossa).

Johnson-Laird sugere uma tipologia, a qual atribui o caráter de informalidade e provisoriedade, para os modelos mentais. Para ele, há duas macros categorias de modelos mentais a serem consideradas: 1) modelos físicos, que representam os sistemas físicos; e 2) modelos conceituais, que representam coisas mais abstratas (JOHNSON-LAIRD, 1983). A seguir, apresenta-se a descrição dos tipos de modelos mentais propostos por Johnson-Laird (1983, p. 422-429, tradução nossa):

Os modelos físicos dividem-se em seis tipos fundamentais e, com exceção da causalidade, correspondem diretamente ao mundo físico:

- i. Modelo relacional simples é um ‘quadro’ estático que consiste em um conjunto finito de *tokens* (elementos) que representa um conjunto finito de entidades física, um conjunto finito de propriedades dos *tokens* que representam as propriedades físicas das entidades e um conjunto finito de relações física entre as entidades.
- ii. Modelo espacial consiste em um modelo relacional no qual as únicas relações entre as entidades são espaciais e o modelo representa essas relações localizando *tokens* dentro de um espaço dimensional (normalmente de duas ou três dimensões). Um modelo espacial pode satisfazer as propriedades do espaço métrico comum; em particular, suas dimensões podem ser psicologicamente contínuas em que a matriz é refinada e todas as distâncias podem satisfazer a desigualdade do triângulo, ou seja, a distância entre dois

pontos quaisquer nunca é maior do que a soma das distâncias entre cada um deles e algum terceiro ponto.

- iii. Modelo temporal fundamenta-se em uma sequência de 'quadros' espaciais (de dimensionalidade constante) que ocorre em uma ordem temporal correspondente à ordem temporal dos eventos (embora não necessariamente em tempo real).
- iv. Modelo cinemático consiste em um modelo temporal psicologicamente contínuo. Representa, portanto, mudanças e movimentos das entidades representadas sem descontinuidades temporais. Esse modelo pode ser executado em tempo real, e certamente o fará se o modelo deriva da percepção.
- v. Modelo dinâmico é um modelo cinemático no qual, além disso, existem relações entre certos quadros que representam as relações causais entre os eventos representados.
- vi. Imagem é uma representação centrada no visualizador das características visíveis de um modelo espacial ou cinemático tridimensional subjacente. Portanto, corresponde a uma visão (ou projeção) do objeto ou estado de coisas representado no modelo subjacente.

Do ponto de vista da natureza dos modelos mentais, Johnson-Laird afirma que, mesmo não havendo uma linha divisória fixa entre percepção e concepção, é admissível supor que a percepção normalmente gera modelos dinâmicos, métricos, tridimensionais de estados de coisas do mundo. O único aspecto controverso dessa afirmação é a causalidade, pois se trata de uma relação abstrata; entretanto, o sistema perceptivo parece sensível a pistas dela (JOHNSON-LAIRD, 1983; MOREIRA, 1996).

Os modelos mentais que não são resultantes diretos da percepção podem ter a intenção de representar uma situação real, uma situação possível ou uma situação imaginária. Embora a maioria dos discursos preceitue um modelo conceitual, esses modelos podem ser tanto físicos como conceituais (JOHNSON-LAIRD, 1983).

Os modelos conceituais, por não disporem de referenciais de sistemas físicos, exigem dispositivos para sua própria revisão recursiva e uma maneira de representar vários conectivos (JOHNSON-LAIRD, 1983). Esses modelos dividem-se em quatro tipos principais:

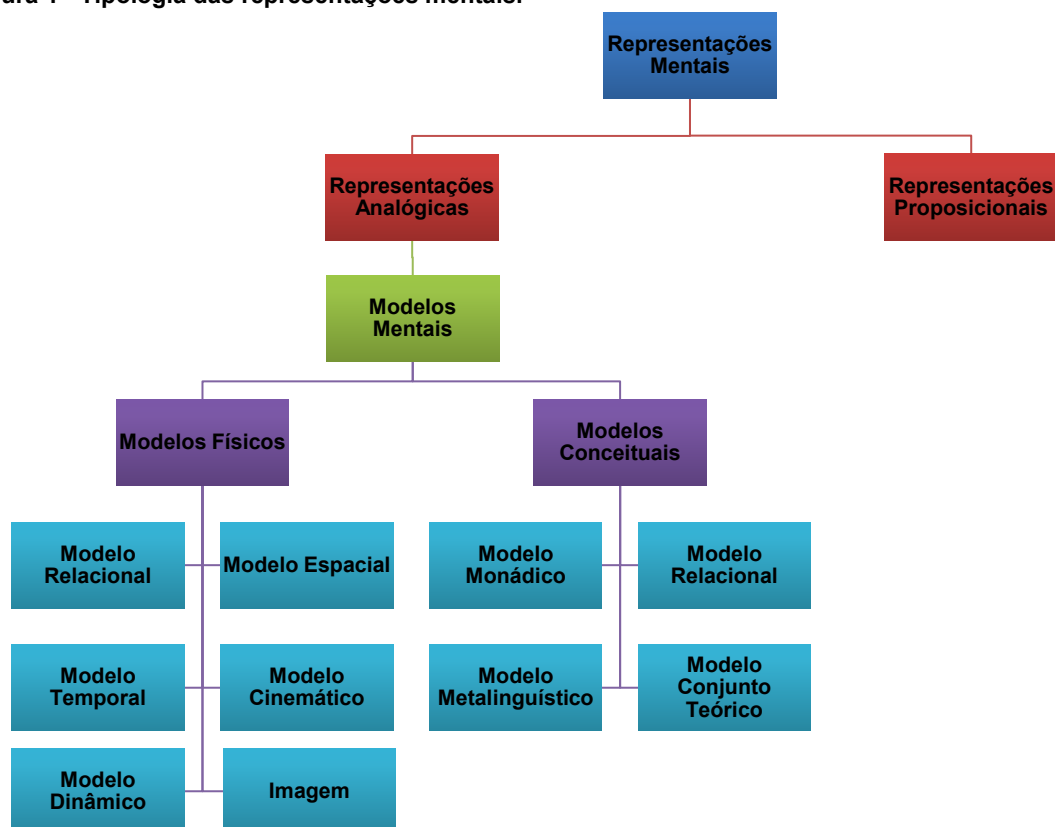
- i. Modelo monádico que representa afirmações sobre indivíduos, seus laços e identidades entre eles. Consiste em três componentes: 1) um número finito de

tokens que representam entidades individuais e propriedades próprias; 2) duas relações binárias, identidade (=) e não identidade (≠), qualquer uma das quais pode ser mantida entre qualquer par de *tokens* individuais de dois conjuntos diferentes para indicar que os indivíduos correspondentes são, ou não, idênticos; 3) um dispositivo de notação especial (ao qual a revisão recursiva é sensível) indicando que é incerto se existem entidades de um determinado tipo.

- ii. Modelo relacional é aquele que introduz um número finito de relações, possivelmente abstratas, entre os *tokens* em um modelo monádico. Certos termos em linguagem natural denotam funções e, portanto, um caso especial de um modelo relacional é aquele que contém um conjunto finito de mapeamentos (muitos para um ou um para um) dos *tokens* de um conjunto para os *tokens* de outro.
- iii. Modelo metalinguístico contém *tokens* correspondentes a expressões linguísticas e certas relações abstratas entre eles e os elementos de um modelo mental de qualquer tipo (incluindo um próprio modelo metalinguístico). As relações abstratas incluem relações semânticas importantes, do tipo *refere-se a* e *de modo que*.
- iv. Modelo de conjuntos teóricos contém um número finito de *tokens* que representam conjuntos diretamente. Ele também pode conter um conjunto finito de *tokens* associados designando as propriedades abstratas de um conjunto, e um conjunto finito de relações (incluindo identidade e não-identidade) entre os *tokens* designando conjuntos.

A classificação dos modelos físicos e conceituais proposta por Johnson-Laird expõe o caráter essencial dos modelos mentais: são derivados de um número relativamente pequeno de *tokens* e de operações recursivas; sua capacidade representativa exige procedimentos extras para construí-los e avaliá-los; suas limitações provêm da percepção ou concepção dos estados de coisas do mundo, dos conceitos implícitos nos significados de objetos e situações e da imprescindibilidade do seu caráter não contraditório (MOREIRA, 1996). Um panorama geral da tipologia das representações mentais propostos por Johnson-Laird pode ser visualizado na Figura 1.

Figura 1 - Tipologia das representações mentais.



Fonte: Autoria própria (2020).

Nesta pesquisa, consideramos que a construção de modelos mentais ocorre a partir da interação do sujeito cognoscente com estruturas de mediação externas ao cérebro. Nesse sentido, apresentamos, na próxima seção, a Teoria da Mediação Cognitiva em Rede (TMC) que será utilizada como fundamento para a identificação dos mecanismos de mediação cognitiva interna e externamente ao cérebro.

2.2 TEORIA DA MEDIAÇÃO COGNITIVA EM REDE (TMC)

A aprendizagem do ser humano está imperiosamente associada à sua história evolutiva e adaptativa no planeta. Com o desenvolvimento da ciência do século XX a Psicologia se institui como campo do saber que busca compreender e explicar como a aprendizagem se processa. Entretanto, assim como as demais visões de ciência que surgiram no pós-crise da Ciência Moderna, no final do século XIX e primeira

metade do século XX, (de caráter racionalista empírico-dedutiva), a Psicologia não se desenvolveu de forma uniforme e concordante (PINTO, 2003). Dentre as diferentes correntes desta nova ciência, destacam-se, conforme Pinto (2003, p. 8-9):

- as comportamentalistas (behavioristas), que consideram a aprendizagem como resultado de uma resposta a um estímulo; o sujeito é relativamente passivo neste processo;
- as humanistas, que tomam a aprendizagem como essencialmente de caráter pessoal em razão de suas experiências únicas e pessoais; o sujeito é considerado ativo neste processo, porém, a aprendizagem é vista como espontânea;
- as cognitivistas, em que a aprendizagem é vista como um processo dinâmico de codificação, processamento e recodificação da informação; tanto o sujeito quanto o ambiente são considerados ativos e a aprendizagem ocorre por meio da interação entre ambos.

As diversas áreas da Psicologia demonstram como o processo de aprendizagem é multifacetado e disforme. Contudo, as visões comportamentalistas nada dizem sobre as operações mentais envolvidas na aprendizagem (PINTO, 2003). Com a produção do computador digital, o desenvolvimento das ciências cognitivas, como um movimento interdisciplinar, ocorreu como uma tentativa de compreender a cognição humana utilizando a lógica e a modelagem computacional (EYSENCK; KEANE, 1994; NEUFELD *et al.*, 2011; CAMPOS, 2016).

Em oposição às premissas behavioristas, a Psicologia Cognitiva atuou e atua a fim de interpretar os processos mentais de forma mais abrangente e de caráter mais científico. Utilizando-se do desenvolvimento das novas tecnologias que possibilitaram novas e detalhadas imagens do cérebro humano, este campo começou a elencar novas “questões sobre os mecanismos neurológicos subjacentes a processos cognitivos, tais como a aprendizagem, a memória, a inteligência e as emoções” (CAMPOS, 2016, p. 125-126). A proposição fundamental do cognitivismo é que as operações mentais são produzidas e reformuladas a partir da interação do sujeito com os mecanismos de mediação disponíveis.

Neste sentido, os ambientes, as interações e as mediações que circundam o sujeito, subsidiam, para os cognitivistas, as informações e os estímulos necessários para os seus processamentos e, conseqüentemente, as mudanças em sua estrutura cognitiva. Assim, as alterações causadas pela emergência e difusão das novas

tecnologias em um curto intervalo de tempo impactaram diretamente na organização da vida das pessoas, em suas habilidades e em suas formas de comunicação. Este conjunto de desdobramentos da tecnologia digital e suas consequências econômicas, sociais e culturais é comumente denominado de Revolução Digital. Tal fenômeno alterou substancialmente o que tradicionalmente é visto como cultura, abrindo caminho para a chamada “Hipercultura”, em que os mecanismos externos de mediação incluem a própria tecnologia e seus impactos na cultura, enquanto os mecanismos internos incluem as competências necessárias para o uso eficaz dos mecanismos externos. Desta forma, o metamorfismo causado pela introdução desses recursos associados à este fenômeno em todos os setores das relações humanas teve implicações diretas sobre a organização e configuração da estrutura cognitiva humana (CAMPELLO DE SOUZA, 2004, 2006; CAMPELLO DE SOUZA *et al.* 2012).

Para Campello de Souza (2004), as teorias cognitivistas até então estabelecidas apresentam algumas lacunas teóricas no que se refere aos impactos causados pela revolução digital, que incluem: 1) a explicação dos efeitos da informática enquanto uso cotidiano e não apenas de forma ensaiada; 2) uma abordagem mais generalizada dos impactos da revolução digital ao invés de pontos muito específicos; 3) e a construção de modelos teóricos que expliquem a relação entre as tecnologias de informação e a cognição humana no contexto geral da chamada Era Digital.

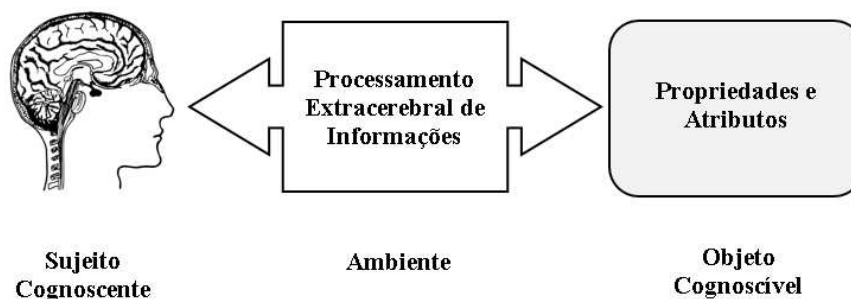
Destarte, a Teoria da Mediação Cognitiva se apresenta como uma abordagem contextualista, construtivista e de processamento de informações, partindo de conceitos e pesquisas procedentes da Epistemologia Genética, do Socio-construtivismo, da Teoria dos Campos Conceituais e da Teoria Triárquica da Inteligência com o intuito de fornecer uma visão ampla da cognição humana em que parte do processamento de informações ocorre fora do cérebro (CAMPELLO DE SOUZA, 2004, 2006; CAMPELLO DE SOUZA *et al.*, 2012). Assim, a TMC admite que o cérebro humano sozinho é incapaz de prover às necessidades de processamento de informações e esta limitação leva à conclusão de que, para que a humanidade tenha conseguido sobreviver e se multiplicar ao longo de seu processo evolutivo, existe uma ampliação da capacidade cognitiva que decorre do processamento de informações externamente ao cérebro humano (CAMPELLO DE SOUZA, 2004).

De acordo com Campello de Souza *et al.* (2012), a TMC está edificada a partir de cinco pressupostos fundamentais a respeito da cognição humana e do processamento de informações:

- i. A espécie humana tem como importante vantagem evolutiva a capacidade de produzir, armazenar, recuperar, manipular e aplicar os conhecimentos de diversas formas;
- ii. A cognição humana é resultado de alguma forma de processamento de informações;
- iii. Isolado, o cérebro humano constitui um finito e, finalmente, insatisfatório recurso de processamento de informações;
- iv. Praticamente qualquer sistema físico organizado é capaz de executar operações lógicas em algum grau;
- v. Seres humanos complementam seu processamento de informação cerebral ao interagirem com sistemas físicos externos.

Isto posto, tem-se a cognição humana como um fenômeno complexo, “onde entre um sujeito e um objeto quaisquer sempre existe um ambiente com elementos que modulam e condicionam a relação entre ambos” (CAMPELLO DE SOUZA, 2004, p. 63). Considera-se, ainda, que o ambiente fornece estruturas capazes de processamentos de informações adicionais ao cérebro humano. Este processo é chamado de “Mediação Cognitiva” (CAMPELLO DE SOUZA, 2006), conforme a Figura 2.

Figura 2 - O processo de mediação cognitiva.



Fonte: Campello de Souza (2004, p. 64).

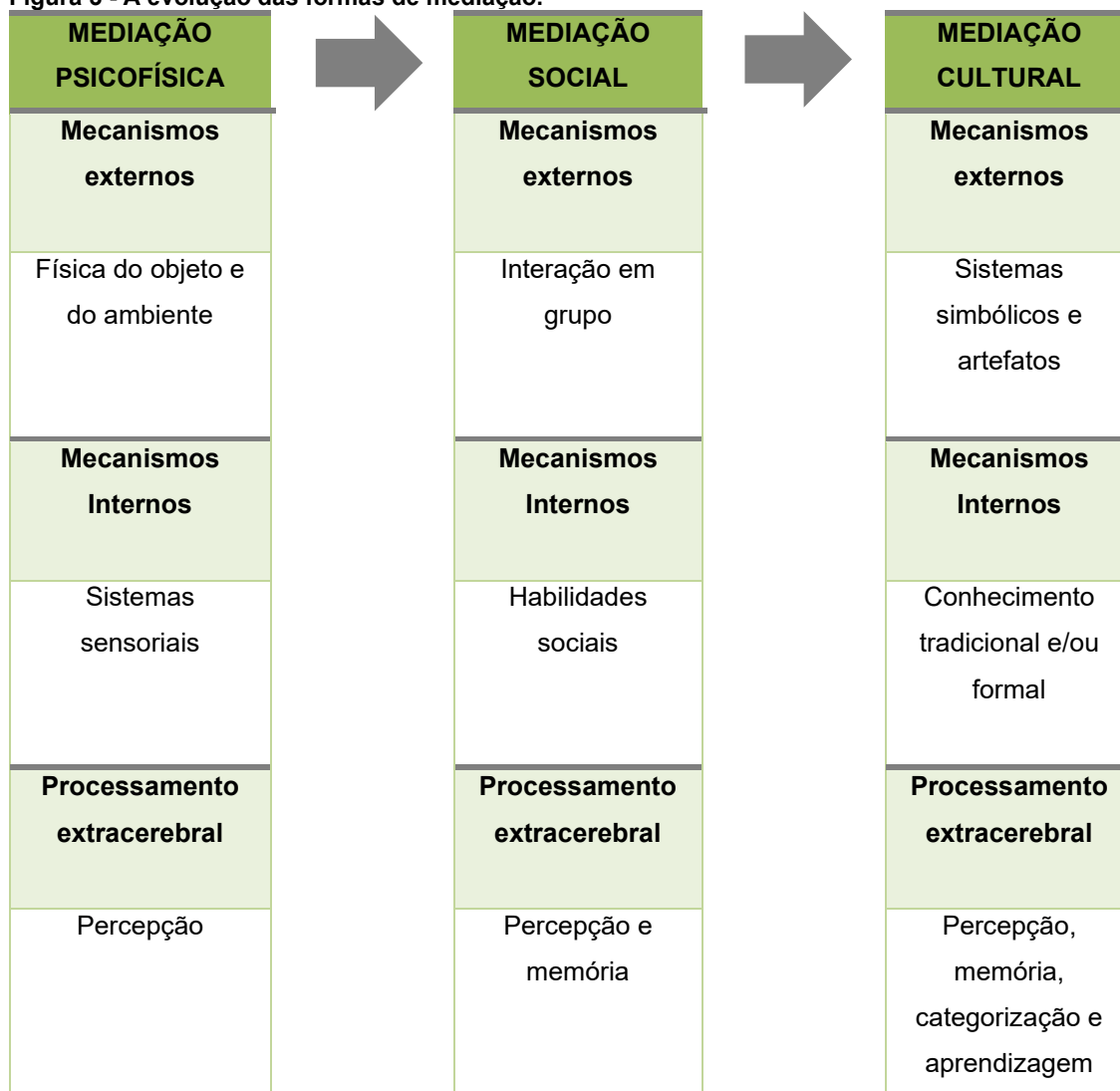
Da combinação dos argumentos colocados, para que exista a relação entre a dimensão intracerebral com a extracerebral, deve haver uma mediação, que na concepção da TMC é um componente ativo que atua como verdadeiro dispositivo computacional, efetuando várias operações lógicas sobre os dados e informações associados a um determinado objeto e situação (CAMPELLO DE SOUZA, 2004).

2.2.1 Evolução Cognitiva e Formas de Mediação

Sob a égide da construção do conhecimento a partir dos processos interativos, a TMC tem como premissa a cognição como fenômeno evolucionário e estocástico que é mediado por um conjunto de estruturas ambientais entre o sujeito cognoscente e o objeto a ser conhecido. O desenvolvimento do mecanismo interno de mediação ocorre através da compensação de ruídos fornecidos por essas estruturas ambientais e, conseqüentemente, pelo uso de sua capacidade de processamento de informações, o que torna a criação destes mecanismos de mediação parte do processo evolutivo da espécie humana. Portanto, o desenvolvimento cognitivo ocorre como uma sucessão de etapas, conduzidas por um processo aleatório de tentativa e erro, tendendo para estruturas cognitivas mais poderosas e sofisticadas (CAMPELLO DE SOUZA *et al.*, 2012).

De acordo com a TMC, os mecanismos de mediação cognitiva evoluíram a natureza psicofísica para a natureza social; da natureza social para a cultural, o que corresponde à ordem de menor complexidade para a de maior complexidade. Em cada etapa observa-se a evolução tanto dos mecanismos externos quanto dos mecanismos internos utilizados no processamento de informações extracerebrais (CAMPELLO DE SOUZA, 2004; CAMPELLO DE SOUZA *et al.*, 2012), conforme a figura 3.

Figura 3 - A evolução das formas de mediação.



Fonte: Adaptado de Campello de Souza (2004, p. 79).

Conforme a figura 3, a sofisticação e a complexidade dos mecanismos externos e internos de mediação ocorrem de forma crescente e cumulativa, assim como os tipos de processamento extracerebral. A mente humana, portanto, expande quantitativamente e qualitativamente a cada etapa e isso representa uma verdadeira revolução cognitiva (CAMPELLO DE SOUZA, 2004).

2.2.2 A Hipercultura e a Mediação Digital

Em linhas gerais, ao longo de sua existência, a humanidade presenciou diferentes períodos em que as formas das relações sociais e com a natureza, o estabelecimento de determinados elementos culturais e as condições de vida e trabalho se firmaram e mudanças significativas nestes pontos ocorreram, na maioria das vezes, de forma lenta e gradual. Entretanto, nas últimas cinco décadas, como consequência do desenvolvimento tecnológico desde a Segunda Guerra Mundial, quando a cibernética emerge como ciência e quando os computadores digitais se tornaram máquinas pequenas e que não exigiam conhecimentos altamente especializados para seu uso ao ponto de serem adquiridos por indivíduos e não apenas pelas grandes corporações, o processo de transição sociocultural ocorreu de forma vertiginosa.

Neste sentido, para Campello de Souza (2004), a rápida transição cultural e suas consequências possibilitou a coexistência de três gerações de pessoas no mesmo intervalo de tempo, a saber: 1) Geração Pré-Digital constituída por pessoas de 40 anos de idade ou mais quando surgiram os primeiros computadores pessoais e já haviam estruturado seus modos de pensar e agir; 2) Geração Digital formada por pessoas que tinham entre 20 e 39 anos de idade quando do desenvolvimento das tecnologias digitais, sendo esta geração a primeira a sentir os efeitos decorrentes de tais artefatos no cotidiano; 3) Geração Pós-Digital, aquela cujo nascimento ocorreu no mundo onde os computadores digitais pessoais já existiam ou ainda eram adolescentes neste período. Esta última, conforme Campello de Souza (2004) e Wolff (2015), apresenta alguns padrões na utilização das tecnologias digitais, como maior facilidade no uso e com as constantes transformações da tecnologia; estratégias para tornar mais eficiente e rápido o funcionamento da tecnologia e, conseqüentemente a realização das suas atividades; preferência pela instantaneidade das ações relativas à comunicação e à informação; tendem ao trabalho coletivo e globalizado de forma que a aprendizagem ocorra a partir de seus próprios conhecimentos aliados aos de diversas pessoas, em um tipo de compartilhamento de competências.

Considerando cultura como “reflexo resultante da intervenção humana na sociedade que possibilita significações a tudo que a cerca” (PAULA; CAMPELLO DE SOUZA, 2020, p. 40), o termo Hipercultura é entendido como uma implicação da

chamada Revolução Digital nos fazeres e saberes de uma sociedade marcada pela ubiquidade das tecnologias de informação e comunicação. Importante salientar que a tecnologia não é vista como determinante de uma sociedade, mas como possibilidade de novas formas de entender e agir no mundo.

Cognitivamente analisando, a Hipercultura representa uma profunda mudança tanto nos mecanismos internos quanto nos externos de mediação utilizados pelos indivíduos como estratégias potencializadoras de suas atividades intelectuais (CAMPELLO DE SOUZA, 2006). Nesta perspectiva, o pensamento hipercultural diferencia-se dos paradigmas mediativos anteriores (Psicofísico, Social e Cultural), por apresentar habilidades como: 1) Domínio no uso das tecnologias de informação e comunicação; 2) uso de analogias e metáforas alusivas às tecnologias de informação e comunicação; 3) pensamento matemático-científico; 4) pensamento transcultural; 5) pensamento visual-espacial; 6) ênfase na aquisição de habilidades para busca de informações ao invés de acumulá-las; 7) técnicas para lidar com grandes conjuntos de conhecimentos e informações; 8) e uso intenso de redes sociais e computação social (CAMPELLO DE SOUZA *et al.*, 2012).

A metaforização do pensamento hipercultural com as tecnologias digitais se baseia nas ferramentas com capacidade de processamento maciço, sequencial, programável, autônomo, simbólico e de longa distância o que possibilita a delegação de parte da computação da informação à artefatos e outros produtos tecnológicos digitais, isto é, parte do processamento da informação ocorre de forma extracerebral. Tal processo é potencializado pela estrutura lógica e matemática altamente complexa presente no núcleo das tecnologias de informação e que, para que o indivíduo possa dominar seu uso, é necessário a internalização de algum grau desta estrutura (CAMPELLO DE SOUZA, 2004; 2006; CAMPELLO DE SOUZA *et al.*, 2012).

Atendendo a existência de elementos extracerebrais de processamento de informações, Campello de Souza afirma que “tais elementos só poderão efetivamente ser de utilidade para o indivíduo se este dispuser de uma forma de interagir eficazmente com eles segundo a necessidade e de modo adequado” (CAMPELLO DE SOUZA, 2004, p. 65). O sucesso na interação depende, portanto, de mecanismos internos que subsidiarão a mediação cognitiva. No contexto da TMC, estes mecanismos, denominados *drivers*, atuam como “máquinas virtuais” que apresentam competências específicas para além da simples conexão com o mecanismo externo de mediação (CAMPELLO DE SOUZA, 2004; CAMPELLO DE SOUZA *et al.*, 2012;

RAMOS; ANDRADE NETO, 2014). Conforme Wolff (2015, p. 62), esses *drivers* “relacionados ao processamento de informações constituem uma vantagem cognitiva, sem que sirvam apenas de coprocessadores de informações auxiliares ao cérebro, mas também auxiliem na interação com objetos cognoscíveis, com amplificação do sinal externo”. A eficácia destes mecanismos de mediação se dá pela conjunção com *drivers* já constituídos no indivíduo e sua modificação ou a construção de novos mecanismos desse tipo ocorre pela incorporação do objeto (WOLFF, 2015). Além disso,

Um fator importante para se poder lidar com a complexidade via cognição extracerebral é a habilidade de transformar componentes do ambiente em mecanismos externos de mediação. [...] Assim, cria-se mecanismos internos de mediação que, residindo funcionalmente no cérebro individual, armazenam conceitos, lógicas e algoritmos suficientes para a interação e utilização dos mecanismos externos, mas não necessariamente uma “representação virtual” desses últimos (CAMPELLO DE SOUZA, 2004, p. 80).

Assim, para que a cognição extracerebral ocorra, isto é, para que o processo de dependência de estruturas externas na complementação do processamento de informações realizados pelo cérebro orgânico se realize, deve conter os seguintes elementos, de acordo com Campello de Souza *et al.* (2012, p. 2321, tradução nossa):

- i. Objeto: o item físico, conceito abstrato, problema, situação e/ou relação à qual o indivíduo está tentando construir conhecimento;
- ii. Processamento interno: a atividade cerebral fisiológica (sináptica, neural e endócrina) que executa as operações lógicas básicas do indivíduo;
- iii. Mecanismos internos: estrutura mental que gerencia algoritmos, códigos e dados que permitem a conexão, interação e integração entre o processamento interno do cérebro e o processo extracerebral feito pelas estruturas do ambiente, funcionando como um *driver* e um protocolo de rede;
- iv. Mecanismos externos: podem ser de vários tipos e capacidades, desde objetos físicos simples (dedos, pedras) até indivíduos e grupos com atividades sociais complexas, sistemas simbólicos e ferramentas/artefatos.

Dessa forma tem-se como mecanismos externos um tipo de sistema físico que atua como processador de informação, como por exemplo artefatos tecnológicos ou grupos sociais e culturais e, como mecanismos internos, as representações mentais que o indivíduo cria dos sistemas externos e as utiliza mesmo quando estes não estão presentes. A mediação cognitiva integra-se pelo intercâmbio entre estes sistemas (WOLFF, 2015).

2.2.3 Bases Teóricas da TMC

A TMC está alicerçada em quatro teorias do desenvolvimento cognitivo: Epistemologia Genética de Jean Piaget, Sócio-Construtivismo de Lev Semiovich Vygotsky, Teoria dos Campos Conceituais de Gérard Vergnaud e Teoria Triárquica da Inteligência de Robert J. Sternberg.

2.2.3.1 Epistemologia Genética de Jean Piaget

A teoria piagetiana se fundamenta na tese de que o conhecimento é construído a partir da interação do sujeito com o mundo material e deste conhecimento depende a sua adaptação à realidade externa (BARDUCHI, 2004). Os pilares centrais da teoria são os processos chamados de assimilação e acomodação. Nas palavras de Brêtas e Santos (2002),

A assimilação corresponde ao processo de recepção do ambiente, de todos os tipos de estímulo e informação, organizando-os para em seguida integrá-los às formas ou estruturas existentes no organismo, criando assim, novas estruturas. A acomodação é o processo que tem por finalidade a busca e ajustamento às condições novas e mutáveis no ambiente, de tal modo que os padrões comportamentais preexistentes, são modificados para lidar com as novas informações ou com o *feedback* das situações externas (BRÊTAS; SANTOS, 2002, p. 90).

A assimilação e a acomodação são processos complementares e presentes durante toda a vida do sujeito (BARDUCHI, 2004). Tais processos apresentam-se como bases para o desequilíbrio dos esquemas já constituídos no indivíduo pela interação com o meio e, conseqüentemente, como suporte para o reestabelecimento do equilíbrio que difere qualitativamente do estado anterior, o que é chamado por Piaget de *equilíbrio majorante* (GIUSTA, 2013). A interação com o ambiente ocorre de maneiras diferentes de acordo com a faixa etária do indivíduo, períodos denominados por Piaget como fases ou estágios. Neste sentido, a arquitetura cognitiva vai, ao longo do seu desenvolvimento, se reestruturando a partir de

operações lógicas e conceituais cada vez mais complexas (CAMPELLO DE SOUZA, 2004).

Na concepção de Piaget, o ambiente é o responsável por fornecer as experiências inculcadas de uma ordem lógica que é admitida pelo indivíduo pelo processo de assimilação (CAMPELLO DE SOUZA, 2004). Assim, cabe ao ambiente de interação a sofisticação dos estímulos fornecidos, tanto em aspectos físicos quanto sociais, que influenciarão diretamente no avanço cognitivo do indivíduo (BRÊTAS; SANTOS, 2002).

Contudo, a interação é resultado da ação do sujeito com o objeto que, desta forma possibilita a construção do próprio sujeito, do objeto e do conhecimento; sendo, portanto, a interação um processo não apenas construtivo, mas também constitutivo. Sob essa égide, a teoria piagetiana se opõe ao apriorismo e ao empirismo, isto é, para Piaget o conhecimento não é fruto de uma estrutura *a priori* do desenvolvimento humano, tampouco como resultado exclusivo do que é extrínseco ao sujeito (SANCHIS; MAHFOUD, 2007). Desta forma, o conhecimento sob a perspectiva piagetiana não é a reprodução fiel da realidade, mas antes a ação do sujeito sobre ela e a sua transformação, o que lhe garante sua adaptação no mundo.

A TMC incorpora totalmente o conceito piagetiano de Assimilação, entretanto acrescenta que este processo também tem finalidades computacionais envolvendo outros objetos ou sistemas e que a lógica, além de equivaler à ordem dos objetos ou sistemas, é também uma possibilidade de atribuição de significados e de relações entre eles. Já o conceito de Acomodação é tomado de forma original de Piaget, considerando o processo como a estruturação cognitiva de forma coesa a partir do acúmulo de mecanismos internos e externos de mediação (CAMPELLO DE SOUZA, 2004).

Em relação às etapas de desenvolvimento piagetiano, a TMC difere no sentido de que a classificação dos estágios de desenvolvimento não ocorre por meio de uma organização hierárquica em função de sua complexidade e relações de necessidade, mas a partir do tipo de mediação utilizada (psicofísica, social, cultural e hipercultural). Quanto ao ambiente de interação, a TMC atribui à este um papel mais ativo do que o descrito por Piaget, no sentido de que o ambiente fornece estruturas de processamento adicional de informações. Por fim, a TMC não admite um estágio final de desenvolvimento lógico cognitivo, como o estágio Operacional Formal da teoria piagetiana. Assim, a incorporação das tecnologias digitais levará as pessoas a um

padrão de desenvolvimento mais complexo e de maior alcance (CAMPELLO DE SOUZA, 2004).

2.2.3.2 O Sócio-Construtivismo de Lev Semiovich Vygotsky

Com forte influência no materialismo dialético do marxismo, o bielorrusso Lev S. Vygotsky desenvolveu estudos sobre os processos psicológicos humanos evidenciando suas dimensões histórico-culturais e não naturais. A teoria vygotkiana de desenvolvimento cognitivo parte da premissa de que o sujeito se apropria e cria significações do meio cultural em que está inserido, afastando-se do princípio genético de Piaget (CAMPELLO DE SOUZA, 2006), e que existem dois aspectos qualitativamente diferentes que precisam ser observados: as funções psicológicas elementares e as funções psicológicas superiores (NUNES; SILVEIRA, 2015), conforme o Quadro 1.

Quadro 1 - Aspectos qualitativamente diferentes na teoria vygotkiana.

| Funções Psicológicas Elementares | Funções Psicológicas Superiores |
|---|--|
| Memória imediata; atenção não voluntária; percepção natural | Memória voluntária; atenção consciente; imaginação criativa; linguagem; pensamento conceitual; percepção mediada; desenvolvimento da vontade; raciocínio lógico. |

Fonte: Adaptado de Nunes e Silveira (2015, p. 50).

De acordo com Campello de Souza, a partir destas categorias propostas por Vygotsky pode-se afirmar que

Todas as pessoas nascem com sua anatomia, fisiologia e processos inferiores [funções psicológicas elementares] em comum devido à transmissão genética (variando apenas numa faixa muito estreita), porém, os processos psicológicos superiores vão variar de modo marcante dependendo do sistema de símbolos usados nas diferentes culturas, sendo necessário a cada indivíduo pertencente a uma dada comunidade a aquisição de tais instrumentos culturais pela interação social. É esta a pedra fundamental do pensamento vygotkiano (CAMPELLO DE SOUZA, 2004, p.120).

Neste sentido, a interação social é responsável pela evolução das funções psicológicas de modo que os significados socioculturais vão sendo internalizados pelo indivíduo, constituindo, assim, as funções psicológicas superiores (NUNES; SILVEIRA, 2015). Os signos culturais, isto é, linguagem, modelos, objetos, símbolos algébricos, desenhos, mapas, escrita, diagramas, etc., são as ligações entre o sujeito e o meio no qual está inserido e são estabelecidos fundamentalmente de acordo com a história distintiva de cada cultura. “A internalização é o processo através do qual ocorrem transformações do externo para o interno com relação aos componentes de um dado repertório cultural” (CAMPELLO DE SOUZA, 2004, p. 121), e o desenvolvimento cognitivo se caracteriza, portanto, pela internalização gradual desses sistemas simbólicos.

Na teoria vygotskiana há duas dimensões de desenvolvimento cognitivo: 1) o desenvolvimento real, ou seja, o já estabelecido; 2) o desenvolvimento potencial, ou seja, as funções psicológicas superiores ainda não amadurecidas, mas que serão, encontrando-se num estágio embrionário (CAMPELLO DE SOUZA, 2004; NUNES; SILVEIRA, 2015). O intervalo entre estas duas dimensões é o que Vygotsky denomina de Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP), onde a mediação social potencializa o desenvolvimento cognitivo com vistas à complexidade das funções psicológicas (NUNES; SILVEIRA, 2015). É a internalização em seu aspecto processual e a validação do meio enquanto provedor das condições necessárias a todo o processo.

A TMC absorve integralmente os aspectos mais essenciais da teoria sócio-construtivista de Vygotsky, acrescentando o papel de processadores externos de informações às estruturas sócio-culturais, indo além do fornecimento de contextos, lógicas e conteúdos para o desenvolvimento cognitivo. Além disso, considera o aumento da rede de interação dos indivíduos, a partir da emergência de novos e mais sofisticados meios tecnológicos de comunicação e informação, como ferramenta mais complexa e potente na capacidade computacional externa (CAMPELLO DE SOUZA, 2004).

2.2.3.3 Teoria dos Campos Conceituais de Gérard Vergnaud

A Teoria dos Campos Conceituais (TCC) do filósofo, matemático e psicólogo francês Gérard Vergnaud é uma teoria cognitivista que visa fornecer uma estrutura coerente e alguns princípios básicos para o estudo do desenvolvimento cognitivo e da aprendizagem de competências complexas (VERGNAUD, 1990; MOREIRA, 2002). Esta teoria parte da premissa de que o cerne do desenvolvimento cognitivo é a conceitualização (VERGNAUD, 1990) de situações ou problemas e que, para isso é necessário a utilização de teoremas de diferentes níveis (CEDRAN; KIOURANIS, 2019). A TCC tem base piagetiana ao reconhecer os processos de adaptação, desequilíbrio e reequilíbrio propostos na Epistemologia Genética de Piaget, mas se apresenta como uma ampliação analítica da aprendizagem de competências complexas em que se consideram destacadamente os próprios conteúdos do conhecimento e o exame conceitual de seu domínio (MOREIRA, 2002).

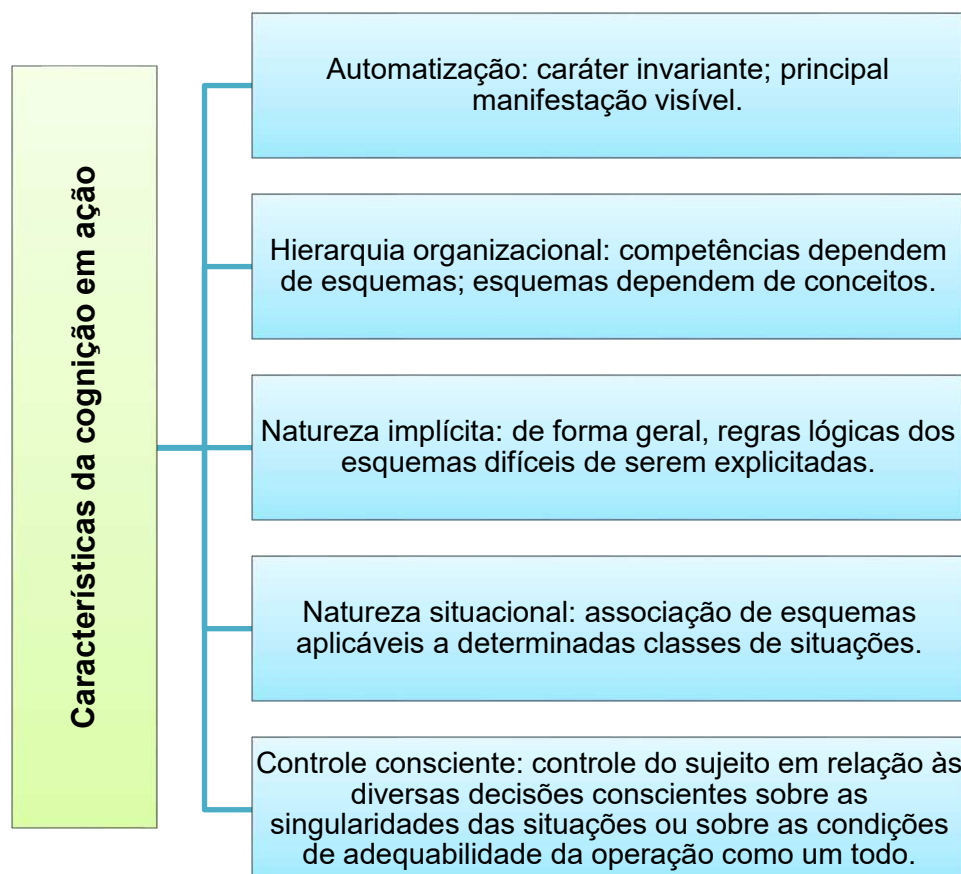
A conceitualização no sentido da TCC extrapola sua definição verbo-lexical e estabelece uma verdadeira relação dialética entre a experiência e o abstrato, isto é, teoremas e conceitos necessários para operar em determinadas situações (CEDRAN; KIOURANIS, 2019). Desta forma, para Vergnaud (1990, p. 145), o conceito deve ser considerado como um triplete de três conjuntos: $C = (S, I, R)$, onde

- S é um conjunto de situações que dão sentido ao conceito (a referência);
- I é um conjunto de invariantes operatórios sobre os quais repousa a operacionalidade dos esquemas (o significado);
- R é o conjunto das formas linguísticas e não linguísticas que permitem representar simbolicamente o conceito, suas propriedades, as situações e os procedimentos de tratamento (o significante).

O esquema é a organização do comportamento do sujeito para uma classe de situações dadas e que constitui o sentido destas situações para esse sujeito. É nos esquemas que se devem investigar os conhecimentos-em-ação do sujeito, àqueles elementos cognitivos que permitem que a ação do sujeito seja operatória (VERGNAUD, 1990). A sistematização de um repertório amplo de esquemas frente a classes de situações e suas variações pode ser entendida como competência (CAMPELLO DE SOUZA, 2004). Neste sentido, “o desenvolvimento cognitivo consiste sobretudo, e principalmente, no desenvolvimento de um vasto repertório de

esquemas” (MOREIRA, 2002, p. 12). A partir dessas definições, Campello de Souza (2004) elenca algumas características evidentes da cognição em funcionamento de acordo com a TCC, conforme a Figura 4.

Figura 4 - Características do funcionamento cognitivo em situações reais na TCC.



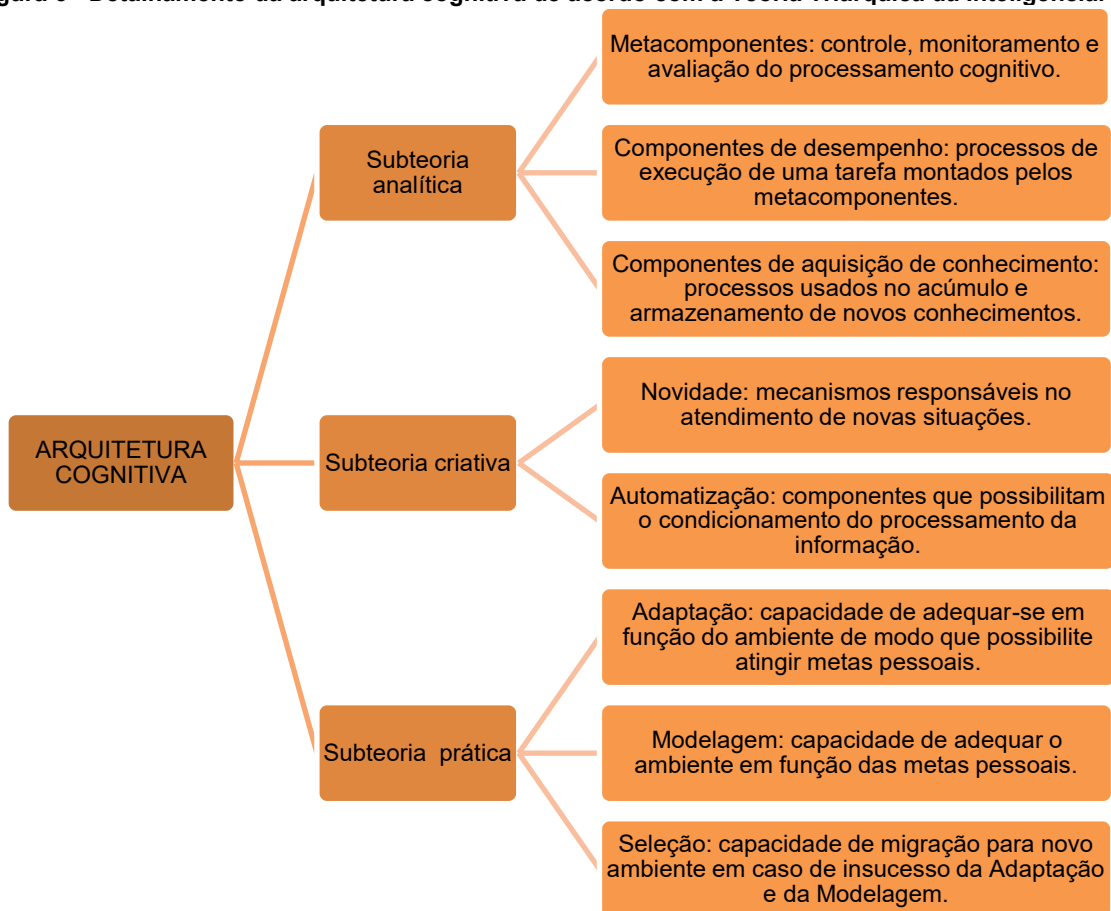
Fonte: Adaptado de Campello de Souza (2004, p. 115-116).

O intercâmbio com os mecanismos externos de processamento ocorre com a construção de *drivers* que são as representações correspondentes aos teoremas-em-ação da TCC de Vergnaud (WOLFF, 2015). Neste sentido, a Hipercultura possibilita o surgimento de novos esquemas e competências, que de acordo com a TMC, podem ser usados como novos dispositivos computacionais (CAMPELLO DE SOUZA, 2004).

2.2.3.4 Teoria Triárquica da Inteligência de Robert J. Sternberg

A Teoria Triárquica da Inteligência (TTI), proposta pelo estadunidense Robert J. Sternberg, parte da tese de que a inteligência é a composição de uma tríade de associações entre variáveis contextuais, comportamentais e individuais (ANDRIOLA, 1998; GAMA, 2014). De acordo com esta teoria, processamento de informações ocorre nas pessoas, na medida em que: 1) formulam e buscam estratégias que as ajudem a alcançar seus objetivos na vida, dado seu contexto ambiental; 2) reconhecem e capitalizam pontos fortes e compensam ou corrigem pontos fracos; 3) adaptam-se, moldam-se e selecionam ambientes (STERNBERG, 2012). Estas variáveis, ou subteorias, subdividem-se, cada uma, em categorias menores, mais específicas, conforme descrito na Figura 5.

Figura 5 - Detalhamento da arquitetura cognitiva de acordo com a Teoria Triárquica da Inteligência.



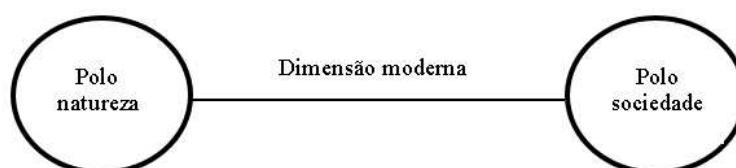
Fonte: Autoria própria (2020).

A TMC abarca a Subteoria Analítica da TTI ao considerá-la equivalente aos mecanismos de processamento interno responsáveis pela realização e organização de operações lógicas. As Subteorias Criativa e Prática, sob a ótica da TMC, explicam o surgimento e funcionamento dos mecanismos internos de mediação, diferenciando-se da TTI apenas por considerar que o papel principal dessas estruturas é a de viabilizar a utilização dos sistemas externos como dispositivos computacionais e as outras funções de caráter secundário. Além disso, outra diferença entre a TMC e a TTI reside no fato de que Sternberg propõe a cognição humana como uma metáfora com o computador, enquanto Campello de Souza expande essa concepção para uma comparação da cognição com uma rede de computadores, ou seja, com “um grande conjunto de sistemas de individuais interagindo por meio de redes complexas em arquiteturas distribuídas” (CAMPELLO DE SOUZA, 2004, p. 129). Por fim, a TMC acrescenta que a Revolução Digital permitiu a disposição de novos mecanismos externos e, conseqüentemente, de redes interativas complexas (CAMPELLO DE SOUZA, 2004).

2.3 NÃO-MODERNIDADE LATOURIANA

Bruno Latour (1947-2022), a partir de estudos etnográficos da ciência, se afasta do pensamento de ciência como pura prática social (FREIRE, 2013) e apresenta uma crítica forte à concepção moderna de ruptura sujeito-natureza (Figura 6) estabelecida inicialmente em Descartes e confirmada pelo kantismo.

Figura 6 - Separação moderna entre os polos natureza e sociedade.



Fonte: Adaptado de Latour (2019a).

Com isso, a condição de verdade científica adquire, para este autor, uma nova configuração. Entretanto, para compreender tal configuração, é imperativo analisar antes a visão de Latour sobre as relações entre sociedade e natureza e seu descolamento da filosofia moderna.

Para Latour, a separação ontológica entre humano (sociedade) e natureza (objeto) moldou o entendimento sobre o desenvolvimento científico e tecnológico nos últimos séculos. Esse se constitui, portanto, em um conjunto de práticas, um processo de purificação³ que estabelece “uma partição entre um mundo natural que sempre esteve aqui, uma sociedade com interesses e intenções previsíveis e estáveis, e um discurso independente tanto da referência quanto da sociedade” (LATOURE, 2019a, p. 21).

Em *Jamais Fomos Modernos* (2019a), Latour baseia-se na descrição do que ele chama de antropologia comparada de Shapin e Schaffer (1985) sobre o embate político-científico do soberano de Hobbes e da bomba de ar de Boyle no século XVII para mostrar como a modernidade construiu um sistema de regras que consolidou a ruptura entre o natural e o social (LIMA *et al.*, 2018). Contrariando a validação do argumento por meio da estrutura apodítica (de proposições lógicas) que predominava até então, Boyle assume a doxa, a partir do testemunho de pessoas confiáveis em torno da cena de ação dentro do laboratório, para aferir a existência de um fato, de uma nova verdade científica. Com esse estilo empírico, os cientistas tornaram-se porta-vozes dos objetos naturais (mudos), isto é, interpretam os dados oferecidos pelos fenômenos e equipamentos de pesquisa. Já o contrato social de Hobbes abandona qualquer forma de transcendência – seja natural ou divina – que esteja fora do controle do soberano. Da mesma forma que o cientista é o representante da natureza na tradição boyleana, o soberano de Hobbes é o representante de uma multidão, ou seja, a unidade daquele que ele representa. Assim, todo o desenvolvimento da sociedade é imanente, ou seja, a sociedade é construída pelos homens e somente por eles, determinando livremente sobre o seu destino (LATOURE, 2019a).

³ Na concepção latouriana, purificar seria fazer “uma separação total entre polos opostos, destacando sempre o que há de comum entre os elementos de uma classe e o que há de disparidade entre esses elementos e outros de uma classe diferente” (CARDOSO; SANTAELLA, 2021, p. 149). Em outras palavras, purificar significa construir fronteiras entre o humano e a natureza, mantendo-os ontologicamente distintos e opostos.

Os discípulos de Boyle e os descendentes de Hobbes, segundo Latour, mantêm essa dicotomia entre natureza e sociedade. Em outras palavras, a natureza independe das relações sociais, com sua essência antecedendo sua existência, ou seja, o resultado do trabalho de um cientista constitui uma “descoberta” de algo que sempre existiu e que ainda estava oculto esperando para ser desvendado. Já a sociedade depende necessariamente e somente das relações sociais para existir, ou seja, sua existência precede a sua essência. Essas são duas garantias bases do que Latour (2019a) chama de Constituição dos Modernos. Essas garantias constitucionais dos modernos, então, asseguram a ruptura dos polos natureza-sociedade a partir da não-humanidade da natureza e da humanidade do social.

Entretanto, para Latour, essa purificação não teria sentido se o resultado das interações entre sujeito e objeto, isto é, humano e não humano não constituíssem num novo ser: o **híbrido**, que no sentido latouriano é aquele construído na mediação, na troca de propriedades mútuas entre os atores.

É nessa produção isócrona de humanos e não humanos que se instaura esse modo de existência híbrido, que Latour também chama de quase-objeto ou quase-sujeito, pois “não ocupam nem a posição de objetos que a Constituição [dos Modernos] prevê, nem a de sujeitos, e porque é impossível encurralar todos eles na posição mediana que os tornaria uma simples mistura de coisa natural e símbolo social” (LATOUR, 2019, p. 69). Cardoso (2018) define o híbrido latouriano de uma maneira mais transparente para os propósitos desta pesquisa, quando afirma que

O híbrido, isto é, a mistura, algo como “mente-matéria” ou “matéria-mente”, aquilo que já estava “no meio do caminho” de uma tensão entre mente e matéria e a partir do qual, e na dependência das muitas interações que caracterizam sua dinamicidade, pode, ao fim de determinado tempo de ação, fazer emergir, então, as categorias da *res cogitans* [ideia] e *res extensa* [matéria] (CARDOSO, 2018, p. 150).

Sob essa perspectiva, o conceito de mediação assume papel central na obra latouriana, uma vez que estabelece a quebra da dicotomia moderna e aclara aquilo que os modernos fizeram ocultar-se: a hibridação. Essa hibridação para Latour não se distingue somente pela nova definição de objetivos emergidos pela mediação, ou pela translação de interesses, ou pela permutação de propriedades possíveis na relação estabelecida, mas pela alteração na respectiva substância expressiva do novo ser. Nas palavras de Cardoso e Santaella (2021), mediação

corresponde, no pensamento latouriano, a um acoplamento, uma vinculação, um agenciamento que altera a própria rede. Ao invés de se concentrar nas categorias, elabora uma subversão nas classes, instaura um conflito nas formas, agita as fronteiras, deforma agrupamentos e as hierarquias. Em seu ímpeto de dinamismo, esse tipo de agenciamento, ao mesmo tempo que transforma o passado em ruínas, permite instaurar classes (CARDOSO; SANTAELLA, 2021, p. 149).

Esse conjunto de práticas de interação, “cria, por ‘tradução’, misturas entre gêneros de seres completamente novos, híbridos de natureza e cultura”. (LATOURE, 2019a, p. 20). A tradução é, portanto, o processo de mediação, de um vínculo novo que até certo ponto modifica os dois originais. (LATOURE, 2017). A esse conjunto de práticas, Latour chama de rede, que na definição de Law (2021) é entendida como relações de vinculação “material e discursivamente heterogêneas que produzem e reorganizam todos os tipos de atores, incluindo objetos, sujeitos, seres humanos, máquinas, animais, natureza, ideias, organizações, desigualdades, escalas e tamanhos e arranjos geográficos” (LAW, 2021, p. 37).

Assim, as garantias da modernidade não podem ser tomadas separadamente; elas se sustentam e servem de contrapeso mútuo. Por essa perspectiva, as duas primeiras garantias se contradizem uma em relação a outra e por si mesma. Primeiro, o cientista “constrói” artificialmente a natureza em seu laboratório e após diz o que “descobriu”. Segundo, a sociedade sempre busca “objetos” para sustentá-la de forma indelével. Trata-se, portanto, de uma questão de imanência e transcendência desses polos. Se a natureza pode ser construída no laboratório, ela não é transcendente. Se a sociedade se sustenta sobre objetos, ela não é imanente. Para resolver esses paradoxos, os modernos acrescentaram mais uma garantia constitucional: separa-se radicalmente o natural do social mesmo o primeiro sendo construído pelos homens e o segundo dependente de objetos e ainda se separa radicalmente o trabalho dos híbridos do trabalho da purificação (Quadro 2).

Quadro 2 - Garantias constitucionais dos modernos.

Constituição moderna

Primeira garantia: ainda que sejamos nós que construímos a natureza, ela existe como se não a construíssemos.

Segunda garantia: ainda que não sejamos nós que construímos a sociedade, ela existe como se nós a construíssemos.

Terceira garantia: a natureza e a sociedade devem permanecer absolutamente distintas; o trabalho de purificação deve permanecer absolutamente distinto do trabalho de mediação.

Fonte: Adaptado de Latour (2019a).

Dessa forma, “as duas primeiras garantias só serão contraditórias enquanto a terceira não afastá-las para sempre uma da outra, fazendo de uma simetria por demasiado óbvia duas assimetrias contraditórias que a prática resolve sem nunca poder se expressar”. (LATOURE, 2019a, p. 46). Além disso, a proposta moderna nega definitivamente a existência dos híbridos e exclui a possibilidade de um Deus na realidade.

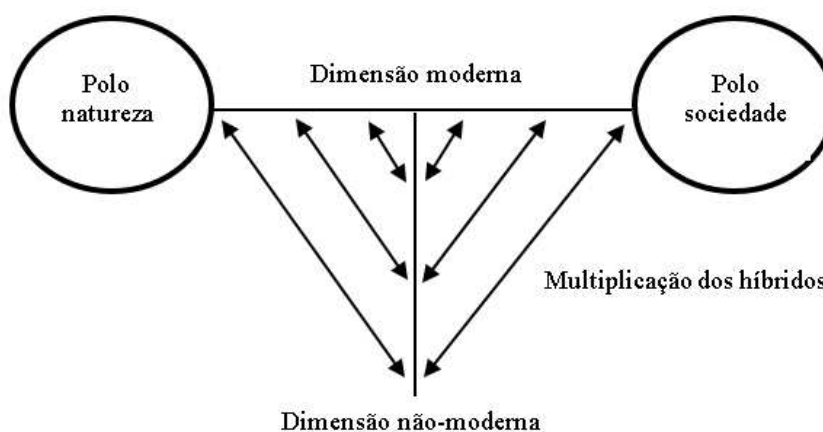
Deste modo,

É moderno quem foge de um passado em que a verdade dos feitos e as ilusões dos valores se misturam de um modo inextricável; é moderno quem pensa que, em um futuro próximo, a Ciência vai finalmente se apartar, de forma completa, da confusão arcaica com o mundo da política, dos sentimentos, das emoções, das paixões. O moderno, o modernizador, é, portanto, aquele que sempre está fugindo em direção a um futuro radiante, que só é possível capturar quando em contraste com um passado odioso (LATOURE, 2016, p. 111).

No entanto, aquilo que os modernos negam, isto é, a produção de híbridos, ocorre de forma mais intensa, pois não há como realizar as práticas de purificação sem usar a tradução. (LIMA *et al.*, 2018). Esta proliferação dos híbridos causada pela modernidade torna insustentáveis as garantias dessa Constituição. Com a invasão constante “dos embriões congelados, sistemas especialistas, máquinas digitais, robôs munidos de sensores, milhos híbridos, bancos de dados, psicotrópicos liberados de forma controlada, baleias equipadas com radiossondas, sintetizadores de genes, analisadores de audiência, etc.” (LATOURE, 2019a, p. 68), o trabalho de purificação fica cada vez mais colapsado a ponto de não poder mais separar o que é sociedade

e o que é natureza. Como argumento, Latour (2019a) usa os exemplos do buraco na camada de ozônio e do aquecimento global. Os dois fenômenos são, para ele, tanto obras humanas quanto obras naturais, são tanto locais quanto globais. Não há como descrevê-los sem mencionar que as atividades humanas e a ação dos componentes naturais se fundem. Ao rejeitar a condição moderna, muitos críticos podem tentar enquadrar a filosofia latouriana como pós-moderna. Entretanto, o próprio Latour se exime desta compreensão ao afirmar que o pós-modernismo “vive sob a Constituição moderna mas não acredita mais nas garantias que esta oferece” (LATOURE, 2019a, p. 63). Portanto, se jamais fomos modernos, é ilógico categorizar o pensamento de Latour como pós-moderno. Assim, conforme a Figura 7, a dimensão não-moderna traça uma nova perspectiva para o reconhecimento dos híbridos.

Figura 7 - Dimensão não-moderna para a multiplicação dos híbridos.



Fonte: Adaptado de Latour (2019a).

A condição não-moderna rejeita a projeção longitudinal vista isoladamente e que rompe os polos natureza-sociedade e propõe uma análise que, além da observância longitudinal, considera a projeção latitudinal como fundamental na caracterização da multiplicação dos híbridos. A partir do desdobramento das duas dimensões simultaneamente os híbridos poderão ser alocados em uma nova ontologia, filosofia, Constituição. (LATOURE, 2019a). Nas palavras de Cardoso (2018),

Ao deslocar a qualidade ontológica fundamental para o meio e para baixo, Latour troca o destaque moderno dado às categorias (formas puras, essências) pela ênfase nos processos e nos acontecimentos ontogenéticos a partir do meio (chamado por ele de “existência”). Se é no meio que acontecem as combustões de que se alimenta a ontologia, se é ali que se engendram as formas (contrariando a abordagem iluminista), então é ali que são gerados os seres dos quais falamos quando falamos de “*res*” (*extensa ou cogitans*), de modo que o interesse latouriano está muito mais nos mecanismos de elaboração das formas do que nas formas prontas e acabadas (CARDOSO, 2018, p. 152).

Além disso, a forma moderna de temporalidade, impede a emergência das causas e das implicações dos objetos da natureza, pois os apresentam como uma sucessão de aparições inexplicáveis, como “milagres”. Nesta perspectiva, a história contingente existe somente para os humanos, os quais só compreendem seu passado a partir de revoluções. Se a natureza e a sociedade são construídas mutuamente, se são resultados de práticas de tradução, tanto os sujeitos quanto os objetos têm história, e é isso (que as próprias coisas tenham história) é que a modernidade insiste em negar. Essa negação faz com que os objetos irrompam na história como eventos singulares (LATOURE, 1995; 2019a).

Outro deslocamento também é feito por Latour: o humano enquanto libertado do polo sujeito. Da mesma forma que os objetos são híbridos do processo de mediação e de purificação simultâneo, o humano desloca-se não apenas longitudinalmente entre os polos natureza-sociedade, como também na forma latitudinal da definição não-moderna. Quanto mais próximo do meio entre os polos natureza-sociedade mais ele se torna o mediador e o permutador. Para Latour, a expressão “antropomórfico” é uma subestimação da nossa humanidade. O mais apropriado seria falarmos em “morfismos”. O antropos é definido por suas alianças e suas permutas. Uma boa definição para o humano, de acordo com Latour, seria “o de permutador ou recombinador de morfismos” (LATOURE, 2019a, p.173).

A partir da análise simétrica entre natureza e sociedade, Latour propõe então uma Constituição não-moderna que, ao contrário da Constituição moderna, explicita a representação dos híbridos. Para isso, são descartadas algumas garantias que os modernos caucionavam e mantidas as que não comprometem o papel dos híbridos (Quadro 3).

Quadro 3 - Garantias constitucionais dos não-modernos.

Constituição não-moderna

Primeira garantia: não-separabilidade da produção comum das sociedades e das naturezas.

Segunda garantia: acompanhamento contínuo da colocação em natureza, objetiva, e da colocação em sociedade, livre. No fim das contas, há de fato uma transcendência da natureza e imanência da sociedade, mas as duas não estão separadas.

Terceira garantia: a liberdade é redefinida como uma capacidade de triagem das combinações de híbridos que não depende mais de um fluxo temporal homogêneo.

Quarta garantia: a produção de híbridos, ao tornar-se explícita e coletiva, torna-se objeto de uma democracia ampliada que regula ou desacelera sua cadência.

Fonte: Adaptado de Latour (2019a).

Deste modo, “o trabalho de mediação torna-se o próprio centro do duplo poder natural e social. As redes saem da clandestinidade. O Império do meio é representado. O terceiro estado, que não era nada, torna-se tudo” (LATOURE, 2019a, p. 176).

De maneira distinta dos pré-modernos e dos modernos, Latour admite uma transcendência da natureza e uma imanência da sociedade, mas que ambas as condições são frutos do trabalho de mediação que não dependem de uma separação entre elas. Ele concorda que os modernos estavam certos em assumir os não-humanos como objetivos e as sociedades como livres; o que não aceita é que para que a objetividade da natureza e a liberdade da sociedade existam seja necessária uma distinção absoluta dos dois termos e a supressão do trabalho de mediação. A homogeneidade do fluxo temporal também precisa ser abolida. Na dimensão não-moderna, o fluxo temporal não pode limitar a liberdade de escolha. Essa liberdade não pode se encontrar apenas no polo sociedade; as combinações das associações devem ser livres da exigência de escolha entre o arcaico e o moderno, o local e o global, o natural e o social. E por fim, trazendo à luz a produção dos híbridos, deixa-se de permitir sua proliferação sem controle, desacelerando, moderando, regulando

que se obtém a moralidade não-moderna baseada na produção regulada e consensual dos híbridos.

Com essa revisão da Constituição dos modernos, a ciência é vista de uma forma mais audaciosa, a partir de sua estranha mistura de híbridos, de sua capacidade de recompor os laços sociais. Quando a separação total entre humanos e não humanos é definida, o trabalho de tradução nunca será completo. Entretanto, quando vigora a dúvida da fidelidade das ciências às coisas e da fidelidade do sujeito à sociedade, “as naturezas estão presentes, mas com seus representantes, os cientistas, que falam em seu nome. As sociedades estão presentes, mas com os objetos que a sustentam desde sempre” (LATOUR, 2019a, p. 181). Este tipo de explicação simultânea da natureza e da sociedade é chamado de Princípio de Simetria Generalizada (FREIRE, 2013), diferenciando-se do Princípio de Simetria proposto pelo Programa Forte de Sociologia, cujo maior expoente é o sociólogo britânico David Bloor (1942). Para esse programa os estudos sobre a ciência deveriam ocorrer de forma interdisciplinar, abarcando os aspectos sociais da ciência e analisando de forma simétrica as condições que geram as crenças ou estados de conhecimento, isto é, a simetria na causalidade do sucesso ou do fracasso de um conhecimento científico (ZANATTA; SAAVEDRA FILHO, 2020). Em contraposição, Latour argumenta que todo empreendimento sociológico-antropológico, como aqueles que se dedicam ao estudo da ciência, e que se propõem simétricos, devem ser compostos por três princípios básicos:

explica os mesmos termos as verdades e os erros – é o primeiro princípio de simetria; estuda ao mesmo tempo a produção dos humanos e dos não-humanos – é o princípio de simetria generalizada; finalmente, ocupa uma posição intermediária entre os terrenos tradicionais e os novos, porque suspende toda e qualquer afirmação a respeito daquilo que distinguiria os ocidentais dos Outros (LATOUR, 2019b, p. 129).

A partir de então, a construção da ciência aparece como uma rede de actantes interconectados trocando propriedades mutuamente. Para Latour, ao tentar purificar a natureza dos seus elementos humanos e/ou purificar a sociedade dos objetos que a sustenta, os modernos fazem proliferar os híbridos (LATOUR, 2019b). Nas palavras dele (2019b, p. 175), “a natureza e a sociedade não são dois polos distintos, mas uma só mesma produção de sociedades-naturezas, de coletivos”. Essa produção pode ser

entendida como uma articulação de proposições⁴, que vai além de uma simples relação de combinação de elementos preexistentes: é antes um intercâmbio onde as proposições aprimoram suas propriedades mutuamente. Nas palavras de Latour, “a noção de proposições articuladas estabelece entre conhecedor e coisa conhecida relações inteiramente diversas das que existem na visão tradicional, mas captura com muito maior exatidão o farto repertório da prática científica” (LATOURE, 2017, p. 171).

Ademais, a concepção não-moderna pressupõe a análise da ciência em movimento, em ação. Latour advoga pelo reconhecimento do fato científico como um empreendimento instável, em movimento, em constante esforço para se sustentar e se estender. Nesse sentido, o autor descreve a prática científica como um campo onde eclode a interconexão de diferentes atores humanos e não-humanos, as disputas, o jogo de poder, as crenças, os aspectos cognitivos, as mediações e deslocamentos de objetivos e ideias como engenho para estabelecer o conhecimento construído enquanto verdade científica (ZANATTA; SAAVEDRA FILHO, 2020). Sobre o profundo imbricamento entre os actantes que constroem a ciência, Latour argumenta que a tecnociência⁵

pode ser descrita simultaneamente como empreendimento demiúrgico que multiplica o número de aliados e como uma realização rara e frágil da qual ouvimos falar só quando todos os outros aliados estão presentes. Se a tecnociência pode ser descrita como algo tão poderoso apesar de tão pequeno, tão concentrado e tão diluído, significa que tem as características de uma rede. A palavra rede indica que os recursos estão concentrados em poucos locais – nas laçadas e nos nós – interligados – fios e malhas. Essas conexões transformam os recursos esparsos numa teia que parece se estender por toda parte (LATOURE, 2011, p. 280).

Uma vez estabilizado, o conhecimento científico em forma de rede constitui-se em uma caixa-preta, isto é, o conhecimento passa a ser utilizado como fato sem que se façam referências aos seus artigos e debates fundadores (PERON; GUERRA, 2021). A estabilização ocorre, portanto, quando o fato construído pela tradução de diferentes actantes torna-se autônomo. Como consequência dessa autonomização, tem-se o apagamento da rede que sustenta tal fato (LIMA et. al., 2019), ou seja, o

⁴ Latour assume a interpretação de Alfred North Whitehead sobre o termo proposição. Para esse autor, “proposições não são assertivas, nem coisas, nem algo de intermediário entre ambas. São, em primeiro lugar, atuantes” (LATOURE, 2017, p. 169). Neste ponto de vista, tanto os atores humanos quanto os não humanos são compreendidos como capazes de desempenhar ações de trocas de propriedades mútuas em um evento.

⁵ Tecnociência é um termo adotado por Latour para designar a ciência e a tecnologia.

conceito estabelecido deixa de ser visto como construído e passa a ser entendido como natural, descoberto

2.3.1 Coletivo de humanos e não-humanos e os conceitos de mediação técnica em Latour

A grande implicação da renúncia ao contrato modernista de separação ontológica entre humano e não humano, portanto, é a desconsideração dos conceitos de sociedade e de natureza demarcados pelos sociólogos do social (termo usado por Latour para se referir aos cientistas da sociologia tradicional, os quais aderem à dicotomia ontológica dos modernos). Para Latour, a sociedade não existiria tal como conhecemos se fosse construída única e exclusivamente por relações sociais. O que ele propõe é colocar luz sobre as outras entidades não humanas que, no paradigma moderno, são cuidadosamente excluídas das análises. Nesse sentido, o autor opta por substituir o termo sociedade, o qual considera contaminado semanticamente, pelo termo “coletivo”, que designa o “intercâmbio de propriedades humanas e não-humanas no seio de uma corporação” (LATOURE, 2017, p. 229). Isso seria trabalho de quem ele define como sociólogo de associações (LATOURE, 2005).

Na rejeição do dualismo moderno, o novo paradigma proposto não age de forma a subjetivar as coisas, mas de cartografar “os movimentos pelos quais um dado coletivo *estende* seu tecido social a *outras* entidades” (LATOURE, 2017, p. 230). Isso implica que cada coletivo é capaz de alterar sua constituição a partir de diferentes associações articuladas. Ainda na contramão da sociologia tradicional, Latour difere um coletivo (chamado de sociedade pelos sociólogos do social) primitivo do coletivo avançado não pela desvinculação entre a tecnologia e a ordem social estabelecida em cada período, ao contrário, para ele “o último translada, permuta, recruta e mobiliza um número maior de elementos mais intimamente conectados, com um tecido social mais finamente urdido do que o primeiro” (LATOURE, 2017, p. 232). Isso porque, conforme demonstrado anteriormente, a negação moderna da existência dos híbridos faz com que estes se proliferem cada vez mais.

Sobre essas ações de mediação entre humanos e não humanos, isto é, mediações técnicas, Latour propõe quatro classificações:

- i. *Interferência*. Uma série de objetivos (programa de ação) que um agente pode descrever sobre a história em uma mediação técnica não é fixa, isto é, na articulação de programas de ação diferentes pode haver um novo objetivo que não corresponda ao propósito inicial de nenhum deles.
- ii. *Composição*. A articulação entre dois ou mais programas de ação torna comum o objetivo composto a partir da permutação de competências e propriedades entre os agentes humanos e não-humanos. “A ação não é uma propriedade de humanos, mas de uma associação de atuantes” (LATOUR, 2017, p. 216).
- iii. *Entrelaçamento de tempo e espaço*. Quando um objeto ou híbrido está fechado em si, como uma caixa-preta, todas as entidades arregimentadas em sua construção estão, de certa forma, silenciadas. Entretanto, quando, por quaisquer motivos, abre-se a caixa-preta em questão, diversos agentes humanos e não-humanos materializam-se ao redor dela. Esta ação permite recuar no tempo e avançar no espaço onde todos os programas de ação foram enredados.
- iv. *Transposição da fronteira entre signos e coisas*. Considerado o mais importante significado de mediação por Latour, concebe a técnica não como elemento estranho e dependente que sustenta o mundo do discurso, mas como transformadora da substância das expressões e não somente de sua forma. As técnicas não apenas têm significado como também produzem significado em virtude de um tipo de articulação que atravessa a fronteira entre signos e coisas. Isso ocorre quando um programa de ação é delegado a um ator não-humano, mantendo o seu significado, mas não necessariamente permanecendo no discurso, pois quem delega tem como possibilidade a exploração de associações e substituições que apontam uma única trajetória através do coletivo. Tal análise só é possível a partir do mapeamento dos deslocamentos entre os programas de ação dos atores envolvidos no processo de mediação técnica.

Sob essa perspectiva, Latour argumenta que “objetos e sujeitos são construídos ao mesmo tempo e o número crescente de sujeitos está diretamente relacionado ao número de objetos lançados – infundidos – no coletivo” (LATOUR, 2017, p. 232). O coletivo é, portanto, o resultado das extensões das relações sociais

pelos humanos aos outros atuantes com os quais permutaram incontáveis propriedades.

2.3.2 Construção científica

Com a concepção de não-modernidade latouriana e com os resultados de um amplo estudo antropológico da ciência, a dimensão de verdade científica diferenciase das outras até então estabelecidas, seja no campo filosófico, histórico ou epistemológico. Na obra *Vida de laboratório* (1997), Latour e Woolgar descrevem a produção de um fato na dinâmica do interior da atividade científica. Em um trabalho etnográfico no laboratório de neuroendocrinologia do Instituto Salk, na Califórnia, entre os anos de 1975 e 1977, Latour acompanhou, imerso no contexto da comunidade científica, todas as facetas que envolvem a construção de um enunciado que, mais tarde, poderá ou não se tornar um fato, uma verdade científica. Essa empreitada teve como propósito apresentar uma resposta mais abrangente à questão:

Como a objetividade que não tem a sociedade por origem é produzida por essa sociedade? Para falar como Bachelard, como é feito um fato? Para falar como Serres (1987), como o objeto chega ao coletivo? Para falar como Shapin e Scaffer (1985), como a política da experiência produz uma experiência infinitamente distante de toda política? Para dizer como Bloor, como o conteúdo emerge de seu contexto? É unicamente com relação à essa questão diversamente formulada que se deve julgar os limites dessa primeira pesquisa de campo (LATOURE; WOOLGAR, 1997, p. 34).

Desse modo, Latour justifica a abordagem etnometodológica da atividade científica que a análise de dentro para fora, ou seja, a ciência em movimento, em ação. Assim, para o autor, quando a ciência é examinada a partir do seu produto, pronta, acabada, como 'caixa-preta', deixa-se de conhecer a verdadeira face da atividade científica, as disputas, o jogo de poder, as crenças, os aspectos cognitivos, as mediações, a atuação dos não-humanos, as traduções e deslocamentos de objetivos e ideias. Segundo ele, poucos pesquisadores de fora adentraram no âmago da atividade científica e tecnológica e saíram para explicar seu funcionamento aos pares externos (LATOURE, 2011).

Muitos jovens entraram no mundo da ciência, mas se tornaram cientistas e engenheiros; o que eles fizeram está visível nas máquinas que usamos, nos

livros pelos quais aprendemos, nos comprimidos que tomamos, nas paisagens que olhamos, nos satélites que cintilam no céu noturno sobre nossas cabeças. Como fizeram, não o sabemos. Alguns cientistas falam de ciência, de seus métodos e meios, mas poucos se submetem à disciplina de também agirem como leigos; o que dizem sobre o que fazem é difícil de conferir sem um esquadramento independente. Outras pessoas falam sobre ciência, de sua solidez, seu fundamento, seu desenvolvimento ou seus perigos; infelizmente, quase ninguém está interessado no processo de construção da ciência. Fogem intimidados da mistura caótica revelada pela ciência em ação e preferem os contornos organizados do método e da racionalidade científica (LATOUR, 2011, p.23-24).

Reconhecendo que o estudo do fazer científico não é uma novidade, Latour critica a forma como esses estudos foram conduzidos até então. Para ele, a Sociologia das Ciências não considerou o núcleo cognitivo das ciências, explorando apenas as dinâmicas sociais das instituições científicas; a História das Ciências, até aquele momento, havia evitado abordar a ciência do século XX, mesmo vinculando bem os aspectos cognitivos e sociais das ciências do passado; e a História Social das Ciências também não explicou satisfatoriamente o núcleo cognitivo das ciências (SILVA *et al.*, 2019c). Assim, a abordagem antropológica de campo permitiria, segundo ele, uma análise que englobasse todos os aspectos durante o processo de construção de uma verdade científica, inclusive a sua dimensão cognitiva (LATOUR; WOOLGAR, 1997), “já que a ciência está fundada sobre uma prática, e não sobre ideias” (FREIRE, 2013, p. 6).

O laboratório é o local onde ocorre a maior parte dessas movimentações. A realidade científica, para Latour, é uma construção social⁶ que ocorre a partir da ordenação da natureza dentro do laboratório e que compreende atores em constantes movimentos. Destaca-se que para ele essa realidade não existe *a priori*, isso significa que ela é a consequência e não a causa da estabilização de um fato.

A atividade científica não trata da “natureza”, ela é uma luta renhida para construir a realidade. O laboratório é o local de trabalho e o conjunto das forças produtivas que torna essa construção possível. Cada vez que um enunciado é estabilizado, ele é reintroduzido no laboratório (sob a forma de máquina, de inscritor, de saber, de rotina, de pré-requisitos, de dedução, de programa etc.), e aí é utilizado para aumentar a diferença entre os diversos enunciados (LATOUR; WOOLGAR, 1997, p. 278).

⁶ Como exposto anteriormente, o termo social tem um sentido mais abrangente para Latour. Para ele, sociedade e natureza constituem o que ele denomina de coletivo de humanos e não-humanos que se estende por redes em que cada ponto ou nó encontra-se um componente ligado por suas mediações (LATOUR, 2017; 2005; 2019a).

O laboratório é um local caótico submerso em instrumentos, procedimentos metodológicos, inscrições, gráficos, folhas de dados, etc. A realidade científica é criada a partir da ordenação desse caos. Os enunciados emergem da massa de números, de curvas produzidas pelos inscrites (nesse aspecto pode-se perceber a importância da participação dos não-humanos na construção da realidade, conforme Latour admite com sua ideia de não-modernidade), pela retórica dos cientistas. “O que separa os cientistas do caos é uma parede de arquivos, de etiquetas, de livros de protocolos, de números e de artigos. Mas essa massa de documentos fornece o único meio de criar mais ordem e, assim [...], de aumentar a quantidade de informação em um lugar” (LATOUR; WOOLGAR, 1997, p. 281). Desse modo, tem-se uma mobilização de atores para extração de dados ou imagens que são convertidos em enunciados e que, por sua vez, irão compor os artigos científicos.

Latour (2019b) argumenta que o modelo de visão dos modernos sobre a construção do fato científico obscurece a atividade dos não humanos, uma vez que nega a eles o poder de fala. Esse ponto da concepção latouriana é por vezes atacada por pesquisadores que, em uma leitura superficial sobre o tratamento dado por Latour às coisas e à sua representatividade, atribuem um caráter pós-moderno à sua ideia. Ao elevar os quase-objetos à condição de atores ativos (ou actantes), Latour estabelece um parlamento das coisas, isto é, a “afirmação da coexistência das práticas científicas com as demais práticas humanas [...], um outro modo de dizer que está em foco a ciência em ação, a ciência como rede de actantes, como prática de mediação” (MORAES, 2004, p. 329). Nesse sentido, para Latour, a compreensão dos conceitos científicos só pode ser completa a partir da análise simétrica entre os elementos sociais e naturais no cerne da atividade científica (PERON; GUERRA, 2021). Assim, para Latour, é moderno todo aquele que mantém uma visão positiva da atividade científica, que caminha na direção de um futuro melhor em relação ao passado, como em um fluxo contínuo de avanços e descobertas (LATOUR, 2019b). Nas palavras desse autor,

não podemos nem separar nem fazer coincidir por completo ciências e sociedade. [...] Não existe saber assegurado se este não for retirado da ágora, se não passar pelo laboratório, cujas portas terão sido cuidadosamente fechadas para que se possa contar com o simples tempo de pensar e preparar, às vezes muitíssimos anos, experiências pertinentes, até que seja acumulado um saber suficientemente fino e especializado. Mas, [...], é impossível permanecer no laboratório. Logo após entrar no silêncio desses recintos, o homem de ciência deve voltar a sair para convencer outros colegas, para interessar os financiadores, os industriais, para ensinar os

estudantes, para satisfazer o apetite de conhecimento do público (LATOUR, 2016, p.156).

Dessa forma, a construção de um fato na ótica desses autores é um processo lento e material das operações práticas dos cientistas que transformam enunciados de níveis menores em enunciados de níveis maiores de facticidade a partir da ordenação da natureza. Para que o fato seja estabelecido, levam-se em conta diversos fatores como, por exemplo, o número de atores na área de pesquisa, a credibilidade e a filiação institucional dos atores, do laboratório, do estilo de artigos, arregimentação de aliados externos e do ineditismo dos enunciados. As circunstâncias, isto é, aquilo que estão à volta, moldam toda atividade científica (LATOUR; WOOLGAR, 1997).

O resultado da construção de um fato é que ele parece não ter sido construído. O resultado da persuasão retórica em um campo agosnístico é que os participantes ficam convencidos de que não estão bem convencidos. O resultado da materialização é que as pessoas podem jurar que as considerações materiais são apenas um componente menor do “processo de pensamento”. O resultado do investimento em credibilidade é que os participantes podem afirmar que a economia e as convicções não intervêm de modo algum na solidez da ciência. Quanto às circunstâncias, elas simplesmente desaparecem dos relatórios, reservados antes à análise política do que uma apreciação do mundo duro e sólido dos fatos! (LATOUR; WOOLGAR, 1997, p.273).

Quando o fato tem um número grande de elementos amarrados (imagens, gráficos, números, testes, enunciados factíveis, aliados externos), ele se torna muito caro na corrida probatória. Isso significa que para questioná-lo demandaria a movimentação de um grande número de ações técnicas, financeiras e de credibilidade. Um problema pior, de acordo com esse autor, é o fato criado ser ignorado ou deformado. Isso acontece quando o fato, comunicado por um artigo, deixa de ser citado ou, quando lido superficialmente, é utilizado como apoio a uma afirmação que se opõe frontalmente àquilo proposto pelo autor (LATOUR, 2011). Quando, ao contrário, o fato é aceito por leitores externos, citado sem deturpações, e então estabelecido, ele começa a ganhar aliados em outros lugares que usarão seus enunciados em outras pesquisas. Assim, “a construção do fato é um processo tão coletivo que uma pessoa sozinha constrói sonhos, alegações e sentimentos, mas não fatos” (LATOUR, 2011, p. 60). Nas palavras de Freire,

Isso significa que um fato científico só existe se for sustentado por uma rede de atores e que, assim, o cientista nunca remete à natureza em si, mas aos seus colegas e à rede que o constitui como tal. Nesse sentido, podemos dizer, em última instância, que uma ciência não se universaliza, mas que sua rede se estende em grandes proporções e se estabiliza, desembaraçando-se de todos os determinantes de tempo e lugar e de qualquer referência ao processo de sua produção (FREIRE, 2013, p. 10).

Portanto, o fato, ou a verdade científica, ganha características de uma rede em que os recursos estão concentrados em poucos lugares (nas laçadas e nos nós) interligados (fios e malhas). Entretanto, a manutenção dessa rede requer um trabalho exaustivo do cientista em impedir que ocorram alterações conceituais no fato estabelecido a partir do que Latour chama de translação⁷ do objetivo inicial. O papel do cientista é também fazer com que mais pessoas se engajem na disseminação espaço-temporal do fato criado (LATOURE, 2011). A verdade científica na visão latouriana é, então, entendida como uma construção do coletivo humano e não-humano, não causal, em forma de rede de atores e que, quanto mais disseminada no espaço e no tempo, mais estabelecida será.

2.3.3 Como assumimos a concepção latouriana nesta pesquisa?

Conforme exposto, a dicotomização ontológica imposta pelos Modernos obscurece a participação dos híbridos na constituição dos coletivos contemporâneos. Na translação dessa concepção para o campo ensino-aprendizagem de ciências da natureza, entendemos que a modernidade contribui para, pelo menos, dois problemas específicos: 1) ao considerar a transcendência da natureza, a modernidade reforça a objetividade, neutralidade e positividade do conhecimento científico, uma vez que o liberta das condições subjetivas do ser humano; e 2) a própria aprendizagem ocorre de forma objetiva, positiva e politicamente neutra visto que sem participação humana na produção do conhecimento científico e sem participação dos não humanos na constituição do estudante, o que ocorre em sala de aula é apenas a transmissão passiva de fatos naturais que foram revelados, descobertos.

⁷ “Interpretação dada pelos construtores de fatos aos seus interesses e aos das pessoas que eles alistam” (LATOURE, 2011, p. 168).

Assim, ao partir do pressuposto de que tanto o conhecimento científico quanto os aspectos epistemológicos em sala de aula são construções coletivas e sustentados por articulações de redes distintas, entendemos a concepção latouriana como chave de interpretação para a descrição dos seres pertencentes ao Império do Meio, isto é, dos híbridos que constituem as redes que participam do processo ensino-aprendizagem de ciências da natureza. Deste modo, a participação dos agentes não humanos não configura apenas como intermediadora dos conceitos científicos, mas como transformadora da própria essência⁸ do estudante, visto que atua como dispositivo de processamento de informação extracerebral.

Sendo, portanto, híbridos, a descrição das redes e a identificação dos mediadores pode subsidiar a compreensão dos mecanismos que estendem para o ambiente educacional e, conseqüentemente, para os coletivos locais, as redes construídas pela ciência contemporânea que sustentam o conceito de fusão nuclear. Entendemos, assim, que a atividade ensino-aprendizagem consiste intrinsecamente no processo de hibridação entre humanos e não humanos, como explicado por Latour.

⁸ A essência de uma situação, para Latour, é o conjunto de actantes alistados na sustentação de uma rede. Nas suas palavras, “é a lista dos outros seres pelos quais é conveniente passar para que esta situação dure, se prolongue, se mantenha ou se estenda” (LATOUR, 2019, p. 46).

3 FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA: CONSIDERAÇÕES NA EDUCAÇÃO CIENTÍFICA DO ENSINO FUNDAMENTAL II E NA LEGISLAÇÃO NACIONAL

Apresentamos nesta seção uma descrição da literatura acerca da introdução de conceitos da Física Moderna e Contemporânea no ensino, seu marco legal a partir da BNCC e a delimitação do conceito de fusão nuclear, conceito científico de estudo desta pesquisa.

3.1 FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA NA LITERATURA DE ENSINO

As discussões sobre o ensino de Física Moderna e Contemporânea (FMC) não são recentes na literatura da área de ensino. Desde o início da década de 1990 a comunidade científica advoga pela inserção de tópicos de FMC no ensino médio brasileiro (TERRAZZAN, 1992). Segundo Terrazzan (1992), os currículos de Física neste nível de ensino são ditados por manuais de Ensino de Física estrangeiros utilizados no século anterior, e excluem praticamente toda Física Moderna do final do século XIX e de todo século XX. Para ele, a atualização do currículo de Física exige a atenção tanto à formação dos professores que atuam nesta modalidade de ensino, à seleção de conteúdos da Física Moderna e Contemporânea adequados para a faixa etária dos estudantes, quanto a possibilidade de desenvolvimento de tais conceitos com poucas exigências de cálculos matemáticos (TERRAZZAN, 1992).

Nos anos seguintes, houve por parte de diversos pesquisadores, uma atenção a esse tema ainda vinculado ao ensino médio da educação básica. Nesse sentido, dois trabalhos teóricos (OSTERMANN; MOREIRA, 2000; PEREIRA; OSTERMANN, 2009) resgataram a bibliografia construída com base no ensino de FMC, desde o final da década de 1980 até o início do século XXI, mais precisamente, até 2006. Esses autores identificaram que as pesquisas sobre esse tema se concentravam em seis objetivos distintos: 1) justificativas teóricas e práticas para a inserção de FMC no ensino; 2) aspectos metodológicos, históricos e epistemológicos sobre o ensino de FMC; 3) concepções alternativas dos estudantes sobre conceitos de FMC; 4) temas

de FMC disponíveis como divulgação ou como bibliografia de apoio para professores; 5) propostas didáticas testadas em sala de aula; e 6) livros didáticos de nível médio que apresentam tópicos de FMC (OSTERMANN; MOREIRA, 2000; PEREIRA; OSTERMANN, 2009). Ainda em 2009, Aline D'Agostin (D'AGOSTIN, 2009) realizou uma pesquisa de mestrado que investigou, sob a perspectiva dos professores do Ensino Médio, se e como os temas de FMC eram trabalhados em sala de aula. A pesquisa identificou que os temas relativos à FMC eram, em geral, compreendidos pelos estudantes do Ensino Médio, uma vez que o formalismo matemático não fosse explorado em profundidade. Um diagnóstico apresentado pela pesquisa é a necessidade de uma revisão nas formações inicial e continuada de professores de Física, de modo que privilegie os aspectos conceituais, históricos e contextuais da FMC.

Na última década, alguns dos aspectos investigados foram: as implicações dos discursos de professores e de livros didáticos no ensino de FMC (MONTEIRO, 2010); a influência das concepções prévias dos estudantes (LINO; FUSINATO, 2011); uso de textos de divulgação científica como estratégia didática (SILVA; ZANOTELLO, 2017); uso de filmes de ficção científica para abordagem conceitual de tópicos de FMC (MOURA; VIANNA, 2019); uso das tecnologias de informação e comunicação como ferramentas didáticas (TREVISAN; SERRANO, 2018; SOARES NETO *et al.*, 2020); elaboração e avaliação de sequências didáticas (SOUZA *et al.*, 2020).

Apesar do crescente número de pesquisadores interessados nesta temática, ainda há controvérsias acerca do modo como se introduz tais conceitos em sala de aula. Enquanto para alguns a compreensão dos conceitos da FMC depende da utilização de conceitos da Física Clássica como base teórica (TERRAZZAN, 1992; FERREIRA *et al.*, 2014), para outros, os conceitos clássicos podem se tornar obstáculos epistemológicos no ensino de FMC (ROCHA *et al.*, 2018).

Os desafios impostos pela complexidade dos temas de FMC e a resistência dos sistemas de ensino em inovação curricular também figuram entre os óbices de sua abordagem na escola média. Fundamentados na necessidade de atualização curricular, Brockington e Pietrocola (2005) analisaram os requisitos básicos para a inserção de tópicos de FMC no ensino médio com base na teoria de Transposição Didática. Ponto importante verificado por esses pesquisadores é a preocupação com as modificações ocorridas nos conceitos produzidos pelo saber sábio durante o processo de transposição didática. A interpretação equivocada da simplificação do

saber pode se tornar um verdadeiro obstáculo na aprendizagem. Quando a simplificação é vista como uma forma de fragmentação do objeto, ou seja, como uma idealização do fenômeno (exemplos: despreze a resistência do ar; considere um plano perfeitamente liso e sem atrito; considere o valor de g constante durante o movimento; etc.), desconectado do seu contexto mais amplo, impede a significação por parte do estudante (BROCKINGTON; PIETROCOLA, 2005). Para esses autores, essa simplificação difere da modelagem científica uma vez que nessa última “abstrações, simplificações e idealizações são implementadas, sem que, no entanto, os limites e possibilidades de tais opções sejam esquecidas, ficando o modelo condicionado às mesmas” (BROCKINGTON; PIETROCOLA, 2005, p. 389). Alicerçados, portanto, nos estudos de Yves Chevallard, esses autores afirmam que a FMC em termos de transposição didática apresenta consensualidade no seio da comunidade científica, atualidade biológica e atualidade moral no sentido de estar em consonância com a ciência praticada e adequada à sociedade contemporânea. Entretanto, a dificuldade maior está na operacionalidade em termos de produção de atividades que possibilitem uma avaliação objetiva. Esse fato tem a ver com a criatividade didática no sentido de criação de um saber com identidade própria do contexto escolar e com a terapêutica que se relaciona com os sucessos obtidos na aplicação do saber em sala de aula. Para contornar tais obstáculos, os autores afirmam que a transposição didática de tópicos de FMC deve ser centrada em atividades com ênfase na argumentação de viés filosófico, favorecendo as propriedades qualitativas do conhecimento em detrimento do formalismo matemático (BROCKINGTON; PIETROCOLA, 2005).

No caso do ensino de Física no ensino fundamental, a abordagem ocorre historicamente no último ano deste nível, como herança de uma visão tradicional baseada na transmissão-recepção de conteúdos de forma descontextualizada com a realidade dos estudantes (MILARÉ; ALVES FILHO, 2010). Além disso, a formação do professor de ciências que atua nos anos finais do ensino fundamental é, na grande maioria, em Ciências Biológicas (MAGALHÃES JUNIOR; PIETROCOLA, 2011; MELO *et al.*, 2015) e, deste modo, pode refletir como deficiências no entendimento dos conceitos físicos (SILVA; SANTOS, 2017; SILVA *et al.*, 2020). Ainda, o ensino que é, muitas vezes, pautado na matematização e no acúmulo de fórmulas algébricas, se restringe aos conceitos da Física Clássica dos séculos XVI ao XIX (FERREIRA *et al.*, 2014).

A Base Nacional Curricular Comum (BNCC), conforme será detalhado mais adiante, atribui ao ensino de ciências a responsabilidade do desenvolvimento das capacidades de compreensão, interpretação e transformação do mundo (natural, social e tecnológico) com os subsídios teóricos e metodológicos das ciências (BRASIL, 2017). Dentre as habilidades estabelecidas pela BNCC, algumas são desenvolvidas a partir da compreensão de conceitos derivados da FMC, como cosmologia, estrutura da matéria e radiações.

Entretanto, na literatura disponível, a ausência de estudos que investigaram os aspectos metodológicos da inserção de conceitos da FMC nas aulas de ciências nos anos finais do ensino fundamental contribui para a necessidade do envolvimento da comunidade científica na análise desse tema. No levantamento bibliográfico em três bases de dados – Portal de Periódicos da Capes, *Scopus* e *Web of Science* – de artigos publicados nos últimos cinco anos, nota-se que nenhum trabalho referente ao ensino de FMC nos anos finais do ensino fundamental foi encontrado. Já no levantamento de pesquisas disponíveis na Biblioteca Digital de Teses e Dissertações e no Catálogo de Teses e Dissertações da Capes também nos últimos cinco anos, apenas três trabalhos foram recuperados, todos resultados de pesquisa de mestrado. Um achado importante de ser evidenciado é que os três trabalhos localizados são frutos de programas de mestrados profissionais (dois em ensino de Física e um em ensino de Astronomia).

Matos (2016) investigou as implicações de uma proposta didática baseada nos aspectos epistemológicos da história da Física usando como referência o movimento de queda dos corpos. A autora se fundamentou na noção de paradigmas da ciência, proposto por Thomas Kuhn, para discutir os aspectos históricos e metodológicos do fazer científico desde Aristóteles até Einstein. Ademais, a asseveração da aprendizagem dos estudantes do nono ano do ensino fundamental foi estruturada a partir da Teoria da Aprendizagem significativa de Ausubel. De acordo com a autora, os resultados da pesquisa mostraram-se promissores no que tange à abordagem de temas relacionados à FMC, especialmente tópicos da Relatividade Geral, desde que trabalhados de forma qualitativa.

Pires (2017), a partir de uma sequência didática fundamentada nas teorias da Aprendizagem Significativa de Ausubel, Sócio-Histórico-Cultural de Vygotsky e Pedagogia Libertadora de Paulo Freire, abordou aspectos qualitativos sobre a natureza, propagação e interação da luz com a matéria no nono ano do ensino

fundamental. Abrindo mão da resolução de problemas numéricos, a pesquisa teve como foco o estudo qualitativo da luz a partir da observação dos fenômenos cotidianos dos estudantes. Os resultados da pesquisa apontam para a possibilidade de construção de argumentos críticos e conscientes dos estudantes no que se refere, além dos conceitos clássicos da física newtoniana, aos conceitos de fotoelétrons e efeito fotoelétrico da física einsteiniana.

Por fim, Rodrigues (2017) avaliou as contribuições de um material didático composto por atividades e oficinas que visou a análise do conceito físico de espaço a partir da evolução das medidas das distâncias astronômicas, aplicado ao longo de dois anos a estudantes do nono ano do ensino fundamental e do primeiro ano do ensino médio. As oficinas foram organizadas de forma que as dimensões astronômicas envolvidas fossem analisadas na ordem crescente, desde as dimensões da Terra, o valor da Unidade Astronômica, distâncias estelares até as distâncias entre galáxias. Como resultados deste estudo, o autor avalia que, apesar de encontrar dificuldades na manipulação de dados matemáticos e na interpretação de textos por parte dos estudantes, a exploração do tema proposto apresenta-se como promissora na educação científica seja sob o viés epistemológico ou matemático.

Isto posto, o grande desafio do ensino de ciências no ensino fundamental é, portanto, desenvolver as habilidades estabelecidas pela BNCC que requerem a aprendizagem conceitual de tópicos de Física Moderna e Contemporânea (FMC). Por se tratar de conceitos que demandam um alto grau de abstração o ensino de FMC requer aspectos metodológicos que inibam a distorção nos conceitos estabelecidos pela comunidade científica e, assim, suprima a possibilidade de formação de concepções alternativas ou discursos de pós-verdades sobre esses temas, conforme discutido em Zanatta e Saavedra Filho (2020).

3.2 FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA NA BASES NACIONAL COMUM CURRICULAR DO ENSINO FUNDAMENTAL II

A Base Nacional Comum Curricular (BNCC) é o documento do Ministério da Educação (MEC) que normatiza o conjunto de aprendizagens consideradas essenciais que deverá compor os currículos dos sistemas de ensino brasileiros a fim

de que todos os estudantes da educação básica tenham assegurados o direito de aprendizagem e desenvolvimento (BRASIL, 2017). Apesar de sua elaboração recente, a BNCC já era prevista na Constituição Federal (Art. 210, 1988), na Lei de Diretrizes e Bases da Educação Brasileira (BRASIL, 1996), nas Diretrizes Curriculares Nacionais para a Educação Básica (BRASIL, 2013) e no Plano Nacional de Educação (BRASIL, 2014). Embora muitas questões estejam ainda em aberto sobre a construção deste documento que envolvem desde as discussões entre entidades governamentais, iniciativa privada e especialistas da área da educação até a própria aceção de qualidade da educação e do tipo de sociedade aspirada (MOZENA; OSTERMANN, 2016), para o desenvolvimento do escopo deste trabalho o foco se dará em sua dimensão conceitual, especificamente nos conceitos desenvolvidos pela Física Moderna e Contemporânea (FMC) que estão presentes no componente Ciências da Natureza (CN) dos anos finais do ensino fundamental.

Nesse sentido, a BNCC define as aprendizagens basilares para o transcurso da Educação Básica que garantam aos estudantes o desenvolvimento de dez competências gerais. O vocábulo competência é designado na BNCC como “a mobilização de conhecimentos (conceitos e procedimentos), habilidades (práticas cognitivas e socioemocionais, atitudes e valores para resolver demandas complexas da vida cotidiana, do pleno exercício da cidadania e do mundo do trabalho” (BRASIL, 2017, p. 8). Compreendendo a FMC enquanto produto da atividade coletiva e histórica entre atores humanos e não-humanos que constitui a realidade do mundo contemporâneo e suas implicações na vida cotidiana, pode-se relacioná-la ao desenvolvimento de cinco competências gerais, entre as dez estabelecidas pela BNCC:

1. Valorizar e utilizar os conhecimentos historicamente construídos sobre o mundo físico, social cultural e digital para entender e explicar a realidade, continuar aprendendo e colaborar para a construção de uma sociedade justa, democrática e inclusiva.
2. Exercitar a curiosidade intelectual e recorrer à abordagem própria das ciências, incluindo a investigação, a reflexão, a análise crítica, a imaginação e a criatividade, para investigar causas, elaborar e testar hipóteses, formular e resolver problemas e criar soluções (inclusive tecnológicas) com base nos conhecimentos das diferentes áreas.
- [...]
4. Utilizar diferentes linguagens – verbal (oral ou visual-motora, como Libras, e escrita), corporal, visual, sonora e digital –, bem como conhecimento das linguagens artística, matemática e científica, para se expressar e partilhar informações, experiências, ideias e sentimentos em diferentes contextos e produzir sentidos que levem ao entendimento mútuo.
5. Compreender, utilizar e criar tecnologias digitais de informação e comunicação de forma crítica, significativa, reflexiva e ética nas diversas

práticas sociais (incluindo as escolares) para se comunicar, acessar e disseminar informações, produzir conhecimentos, resolver problemas e exercer o protagonismo e autoria na vida pessoal e coletiva.

[...]

7. Argumentar com base em fatos, dados e informações confiáveis, para formular, negociar e defender ideias, pontos de vista e decisões comuns que respeitem e promovam os direitos humanos, a consciência socioambiental e o consumo responsável em âmbito local, regional e global, com posicionamento ético em relação ao cuidado de si mesmo, dos outros e do planeta (BRASIL, 2017, p. 9).

Destarte, o ensino fundamental de nove anos de duração, dividido em anos iniciais (que compreende do 1º ano ao 5º ano) e anos finais (do 6º ano ao 9º ano desta etapa), tem como pressuposto a progressão do desenvolvimento das relações entre os estudantes e o mundo exterior, de modo que possibilite sua interpretação e atuação ativa na construção de conhecimentos. Dessa forma, nos anos finais do ensino fundamental, os estudantes deverão ser estimulados à compreensão de conhecimentos com maior grau de complexidade a fim de oferecer estruturas para a sua interação crítica com diferentes conhecimentos e fontes de informações (BRASIL, 2017).

A área de CN na BNCC está fortemente influenciada pelo desenvolvimento científico e tecnológico e suas implicações na sociedade contemporânea. Sob esta ótica, o ensino de ciências no ensino fundamental está balizado pelo desenvolvimento do letramento científico, “que envolve a capacidade de compreender e interpretar o mundo (natural, social e tecnológico), mas também transformá-lo com base nos aportes teóricos e processuais das ciências” (BRASIL, 2017, p. 321). Para tanto, o documento prima pelos processos pedagógicos alicerçados em atividades investigativas. Tais pressupostos, articulados com as competências gerais para a Educação Básica, resultam em oito competências específicas para o componente curricular de Ciências que, juntas contemplam o princípio basilar do letramento científico.

A organização das aprendizagens essenciais estabelecidas para a área de CN está dividida em três unidades temáticas recorrentes em todo o decorrer do ensino fundamental: 1) Matéria e Energia, que compreende o estudo dos materiais e suas transformações, assim como da energia a partir de suas fontes e tipos de usos; 2) Vida e Evolução, que envolve as questões relacionadas aos seres vivos, suas características, formas de vida e associações, como também os aspectos relativos à manutenção da vida e seus processos evolutivos; e 3) Terra e Universo, que visa a

compreensão dos aspectos constitutivos, dinâmicos e evolutivos dos corpos celestes e suas implicações socioculturais (BRASIL, 2017).

Sob a égide do desenvolvimento científico e tecnológico, torna-se evidente que as atribuições destinadas à área de CN para o ensino fundamental contemplam a análise conceitual e processual dos conhecimentos e produtos desenvolvidos pelas ciências contemporâneas, em especial a FMC, assim como suas relações Ciência-Tecnologia-Sociedade (CTS).

Impossível pensar em uma educação científica contemporânea sem reconhecer os múltiplos papéis da tecnologia no desenvolvimento da sociedade humana. A investigação de materiais para usos tecnológicos, a aplicação de instrumentos óticos na saúde e na observação do céu, a produção de material sintético e seus usos, as aplicações das fontes de energia e suas aplicações e, até mesmo, o uso da radiação eletromagnética para diagnóstico e tratamento médico, entre outras situações, são exemplos de como a ciência e a tecnologia, por um lado viabilizam a melhoria da qualidade de vida humana, mas, por outro, ampliam as desigualdades sociais e a degradação do ambiente (BRASIL, 2017, p.329).

Nesta perspectiva, o Quadro 4 apresenta uma descrição analítica dos conceitos atribuídos à FMC que estão presentes nos objetos de conhecimento propostos para a área de CN nos anos finais do ensino fundamental. Importante salientar que, com a perspectiva de ampliação progressiva do conhecimento, a BNCC pressupõe que os estudantes dos anos finais do ensino fundamental já dispõem de maior capacidade de abstração, o que subsidia certo grau de complexidade dos conceitos científicos e tecnológicos a serem compreendidos. Desse modo, é natural que a incidência de conceitos vinculados à FMC esteja concentrada no último ano do ensino fundamental, visto que é a etapa em que os estudantes apresentam maior maturidade cognitiva.

Quadro 4 - Conceitos de FMC previstos na BNCC.

| Ano | Unidade Temática | Habilidades | Conceitos de FMC |
|------------|-------------------------|---|--|
| 9º | Matéria e Energia | (EF09CI03) Identificar modelos que descrevem a estrutura da matéria (constituição do átomo e composição de moléculas simples) e reconhecer sua evolução histórica. (EF09CI06) Classificar as radiações eletromagnéticas por suas frequências, fontes e aplicações, discutindo e avaliando as implicações de seu uso em controle remoto, telefone celular, raio X, forno de micro-ondas, fotocélulas etc. | - Estrutura da matéria; - Átomo de Bohr; - Modelo Padrão da Física de Partículas; - Núcleo atômico; - Energia nuclear atômica; |

| | | | |
|--|------------------|---|---|
| | | (EF09CI07) Discutir o papel do avanço tecnológico na aplicação das radiações na medicina diagnóstica (raio X, ultrassom, ressonância nuclear magnética) e no tratamento de doenças (radioterapia, cirurgia ótica a <i>laser</i> , infravermelho, ultravioleta etc.). | |
| | Terra e Universo | (EF09CI16) Selecionar argumentos sobre a viabilidade da sobrevivência humana fora da Terra, com base nas condições necessárias à vida, nas características dos planetas e nas distâncias e nos tempos envolvidos em viagens interplanetárias e interestelares. (EF09CI17) Analisar o ciclo evolutivo do Sol (nascimento, vida e morte) baseado no conhecimento das etapas de evolução das estrelas de diferentes dimensões e os efeitos desse processo no nosso planeta. | <ul style="list-style-type: none"> - Princípios da Relatividade Especial; - Contração e dilatação do espaço-tempo; - Buracos negros e buracos de minhoca; - Campo gravitacional enquanto curvatura do espaço-tempo; - Fissão nuclear; - Fusão nuclear; - Emissão de luz; - Espectro da luz; |

Fonte: Autoria própria (2020).

Para os propósitos dessa pesquisa, selecionamos o conceito de fusão nuclear, presente na Unidade Temática Terra e Universo, para compor o conteúdo de análise. A opção por esse tópico se deu por seu caráter não sensorial que demanda a construção de representações mentais para seu entendimento. Descrevemos na próxima seção uma síntese do conceito de fusão nuclear estabelecido pela comunidade científica.

3.3 O CONCEITO DE FUSÃO NUCLEAR

O conceito de fusão nuclear abordado nesta pesquisa é parte do programa curricular sobre ciclo evolutivo das estrelas estabelecido pela BNCC, cuja habilidade (EF09CI17) a ser desenvolvida nos estudantes consiste em fornecer subsídios conceituais para que os mesmos analisem o ciclo evolutivo do Sol (nascimento, vida e morte) baseado no conhecimento das etapas de evolução das estrelas de diferentes dimensões e os efeitos desse processo no nosso planeta.

A construção do conhecimento moderno sobre as reações nucleares nos átomos tem sua origem no final do século XIX e início do século XX (MARTINS, 2012). Mas, foi a partir do desenvolvimento da astrofísica que os processos de produção de elementos químicos mais pesados começaram a se estabelecer na comunidade científica. Segundo Martins,

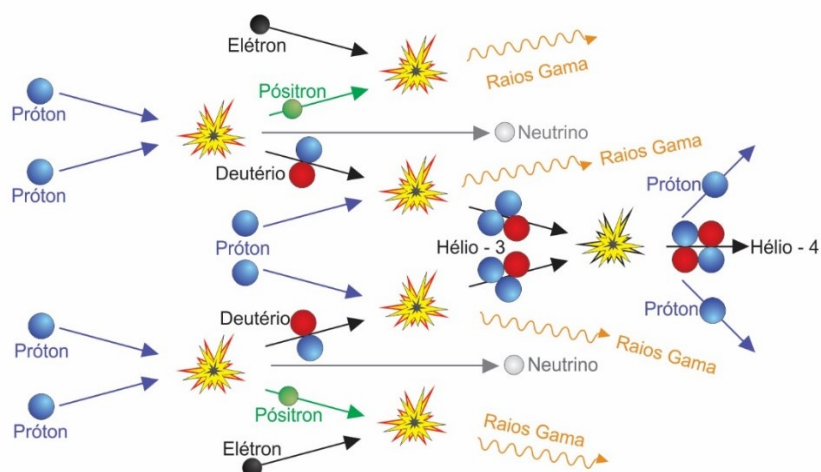
Para o desenvolvimento da teoria da energia das estrelas, foi necessário, por um lado, estudar em laboratório as reações nucleares e medir sua energia e condições de ocorrência; e, por outro lado, estudar as estrelas, sua composição química e fazer modelos do seu interior, para estudar qual poderia ser sua temperatura interna. Esse trabalho é considerado um grande sucesso da astrofísica, e acredita-se que os principais aspectos da geração de energia nas estrelas são agora compreendidos (MARTINS, 2012, p. 195).

A astrofísica sustenta que a produção de elementos químicos mais pesados ocorre a partir de eventos altamente energéticos como nas reações termonucleares do núcleo de estrelas, nos quasares e em supernovas. Para os propósitos desta pesquisa, consideraremos especialmente o conhecimento sobre reações termonucleares que ocorrem no interior de estrelas com massa semelhantes à massa do Sol (cerca de $1,99 \times 10^{30}$ kg).

Os núcleos dos átomos são formados de partículas carregadas positivamente (prótons) de outras eletricamente neutras (nêutrons). A coesão dessas partículas na estrutura nuclear ocorre pela ação de uma força chamada força forte ou força nuclear. Esta força é muito maior que as forças que mantêm os elétrons em órbita dos núcleos, mas tem alcance limitado a pequenas distâncias, da dimensão do próton ou nêutron (cerca de 10^{-15} metros). O conceito contemporâneo de fusão nuclear consiste na reação entre dois núcleos atômicos (nucleossíntese) leves que resulta na produção de um núcleo atômico mais massivo. Essa reação é um fenômeno que exige condições extremamente grandes de temperatura. Isto porque, para vencer a força de repulsão eletromagnética (próton-próton), e alcançar o limite para ação da força forte, chamada de barreira coulombiana, a quantidade de energia térmica das partículas deve ser da ordem de 5 milhões de graus Celsius. Admite-se hoje que as estrelas são fábricas de elementos químicos devido, principalmente, à sua composição e às suas condições de pressão e temperatura (BRITO; MASSONI, 2019).

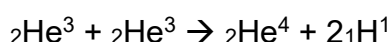
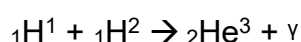
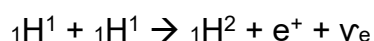
As reações de fusão nuclear que ocorrem no Sol produzem, basicamente, átomos de hélio a partir da colisão de núcleos de hidrogênio. Na figura 8, podemos observar que esse processo ocorre, essencialmente, em cinco etapas, isto é, não se dá de forma direta.

Figura 8 - Representação do processo de fusão termonuclear.



Fonte: Fusão termonuclear, extraído de <http://astro.if.ufrgs.br/estrelas/node10.htm>, acesso em 20 de janeiro de 2023.

Inicialmente, ocorre a fusão de núcleos de hidrogênio (${}^1_1\text{H}^1$) para formar núcleos de hidrogênio mais pesados (${}^1_1\text{H}^2$), chamados de deutérios. Na sequência, ocorre a fusão de núcleos de hidrogênios (${}^1_1\text{H}^1$) com deutérios (${}^1_1\text{H}^2$) formando isótopos de 3 do hélio (${}^2_2\text{He}^3$). Por fim, a fusão de isótopos 3 de hélio para formar núcleos de hélio 4 (${}^2_2\text{He}^4$). A equação que corresponde a essa sequência é:



Como exposto anteriormente, para que esse fenômeno ocorra é exigido quantidades enormes de temperatura e pressão, como no núcleo do Sol, onde a temperatura atinge quinze milhões de graus Celsius e a pressão chega a trezentos e quarenta milhões de atmosferas terrestres (RIBEIRO, 2015). Ademais, “essa reação é muito energética, pois um grama de hidrogênio transformado em hélio produz aproximadamente 180.000kWh, o suficiente para alimentar uma casa (150kWh/mês) por um século” (SABINO *et. al.*, 2019, p. 4). Essa energia é liberada nas reações de fusão porque quando dois núcleos leves se fundem, a massa do núcleo produzido é menor que a soma das massas dos núcleos iniciais (a equação de Einstein $E=mc^2$, explica que a massa perdida é convertida em energia). O Sol, principal fonte de

energia do nosso planeta, realiza a conversão 600 milhões de toneladas de hidrogênio em hélio a cada segundo.

4 REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo, apresenta-se uma revisão da literatura acadêmica com o propósito de construir o estado da arte com alinhamento teórico ao desta investigação. Como descrito na introdução, esta é uma pesquisa sobre o ensino de ciências mediado por tecnologias digitais (TIC) e sua análise à luz da concepção latouriana de hibridação entre humano e não humano. Com esse objetivo, as categorias de conceitos chaves utilizadas para busca de artigos versaram sobre:

- Simulações computacionais no ensino de ciências;
- Teoria da Mediação Cognitiva em Rede e ensino de Ciências;
- Antropologia Simétrica de Bruno Latour no ensino de Ciências.

Para tanto, utilizou-se as seguintes bases de dados para busca dos artigos: Portal de Periódicos da Capes, o sistema ERIC (*Education Resources Information Center*) e Google Acadêmico. A pesquisa nas bases de dados foi a partir da ferramenta de busca nas páginas destas na Internet, com as entradas de títulos e resumos dos termos em português “simulações computacionais”, “ensino de ciências”, “teoria da mediação cognitiva em rede”, “mediação digital”, “hibridação cognitiva”, “simetria generalizada de Bruno Latour”, “hibridação humano não-humano no ensino”, e esses mesmos termos em inglês “*computer simulations*”, “*science teaching*”, “*cognitive mediation theory*”, “*network cognitive mediation theory*”, “*cognitive hybridization*”, “*Bruno Latour’s generalized symmetry*” e “*non-human human hybridization in teaching*”. Ainda, os termos, tanto em português quanto em inglês, foram combinados a fim de refinar a busca e alinhá-la ao escopo desta pesquisa. Por fim, o recorte temporal utilizado foi entre os anos 2004 (ano de publicação da Teoria da Mediação Cognitiva em Rede) e 2022.

Após a leitura e organização dos trabalhos recuperados, foram excluídos os trabalhos que se repetiram nas diferentes bases de dados e aqueles cujos objetivos não se alinhavam aos propósitos desta pesquisa. A seguir, apresentamos os principais estudos realizados nas três categorias elencadas anteriormente.

4.1 SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS NO ENSINO DE CIÊNCIAS

A literatura acadêmica sobre uso de tecnologias de informação e comunicação (TIC) no ensino de ciências é bem desenvolvida e conta com um acervo considerável. Nessa seara, as pesquisas recuperadas indicam as que as investigações são direcionadas tanto para as potencialidades didáticas quanto para os limites epistêmicos do uso das TIC como recurso metodológico em aulas de ciências. Dessa forma, apresentamos a seguir uma breve revisão do uso de mecanismos computacionais no ensino e alguns estudos recentes sobre o uso de simuladores virtuais nas aulas de ciências.

Para Lévy (2010), a interconexão global dos computadores permitiu a construção de um novo meio de comunicação, o qual denomina 'ciberespaço', que além da estrutura material, do volume de informações compartilhadas, abrange também os seres humanos que alimentam e se alimentam desse universo. Para além, esse domínio promove a construção de uma 'cibercultura' caracterizada por um "conjunto de técnicas (materiais e intelectuais), de práticas, de atitudes, de modos de pensamento e de valores que se desenvolvem juntamente com o crescimento do ciberespaço" (LÉVY, 2010, p. 17).

Entre os pesquisadores da área de ensino-aprendizagem, parece haver um consenso de que a proliferação das novas tecnologias digitais nas sociedades contemporâneas reflete diretamente no cotidiano educacional. Numa perspectiva geral, a consolidação do emprego da informática na área educacional ocorreu nos anos 1980, o que possibilitou a resolução de problemas a partir da manipulação de dados e a criação de novos ambientes de aprendizagem (OLIVEIRA *et al.*, 2004). No Brasil, de acordo com Moraes (2016), a introdução da informática na educação foi estimulada pelo Estado a partir da década de 1970 como forma de responder aos interesses de industrialização durante o período militar, influenciada diretamente pela Agência Norte-Americana para a Educação (USAID).

Desde então, questões fundamentais referentes às contribuições ou prejuízos nos processos ensino-aprendizagem, até mesmo as consequências sociais da introdução dessas novas tecnologias na educação, (MORAES, 2016), fazem parte do léxico de pesquisadores do âmbito educacional. Assim, o número de pesquisas sobre o uso de TIC como recursos educacionais cresceu vertiginosamente a cada ano, visto

pelo número de publicações em periódicos da área nos últimos 25 anos (NUNES *et al.*, 2016), constituindo, assim, um campo de pesquisa com conjuntos metodológicos próprios.

De acordo com Leite e Ribeiro (2012) um dos desafios para a efetivação do uso de TIC na educação básica é a adequação estrutural das escolas quanto à disponibilidade de recursos tecnológicos. No entanto, mesmo com certa disseminação de artefatos tecnológicos multimidiáticos no cotidiano escolar, tais como *notebook*, *tablet*, *smartphone*, *data-show* e a *internet*, ainda não há uma instrumentalização satisfatória no que tange ao aproveitamento desses recursos digitais na promoção do processo ensino-aprendizagem, observada principalmente na parte dos docentes da escola básica da educação pública que não têm formação inicial ou continuada para o desenvolvimento de projetos de ensino alicerçados por essas tecnologias (BOTTENTUIT JUNIOR *et al.* 2016; MOURA *et al.*, 2019), apesar de muitos docentes serem jovens e conectados com a realidade virtual. Nesse sentido, a formação docente não deve apenas operacionalizar o uso das tecnologias disponíveis, deve, antes, possibilitar a atuação crítica e reflexiva diante de tais possibilidades. Nas palavras de Takahashi (2000),

educar em uma sociedade da informação significa muito mais que treinar as pessoas para o uso das tecnologias de informação e comunicação: trata-se de investir na criação de competências suficientemente amplas que lhes permitam ter uma atuação efetiva na produção de bens e serviços, tomar decisões fundamentadas no conhecimento, operar com fluência os novos meios e ferramentas em seu trabalho, bem como aplicar criativamente as novas mídias, seja em usos simples e rotineiros, seja em aplicações mais sofisticadas. Trata-se também de formar os indivíduos para “aprender a aprender”, de modo a serem capazes de lidar positivamente com a contínua e acelerada transformação da base tecnológica (TAKAHASHI, 2000, p. 45).

Apesar dos óbices encontrados pela comunidade científica nas análises da inserção das TIC na educação básica, há uma concordância no que se refere ao potencial pedagógico dessas ferramentas; seja como fonte de mediação pedagógica (PEIXOTO; CARVALHO, 2011), como possibilidade de entendimento da complexidade do mundo contemporâneo (OBATA *et al.*, 2018), como criação de comunidades virtuais colaborativa no processo de construção do conhecimento (OLIVEIRA; LIMA, 2015) ou como fator motivacional para estudantes uma vez que o uso das TIC possibilita a dinamização da prática docente (MOURA *et al.*, 2019).

Dentre as diferentes TIC disponíveis para o ensino de ciências na escola básica, os simuladores virtuais apresentam vantagens no campo da economia e do

tempo uma vez que dispensam a utilização de laboratórios e equipamentos técnicos sofisticados para a representação de fenômenos tanto macroscópicos quanto microscópicos. Entendendo que “as simulações podem ser vistas como representações ou modelagens de objetos específicos, reais ou imaginados, de sistemas ou fenômenos” (GUILLERMO et al., 2005, p. 3), este tipo de recurso é estudado por diversos pesquisadores da área de ensino de ciências da natureza.

Em 2011 os pesquisadores Araujo e Veit (2011) revisaram a literatura acadêmica sobre o uso de recursos computacionais no ensino de Física. À época, os autores observaram que os trabalhos publicados nessa área se concentravam maciçamente em tópicos da mecânica newtoniana a partir de simulações computacionais. Argumentaram, ainda, que a maior parte dos trabalhos resgatados tratavam do desenvolvimento de diferentes recursos instrucionais e que, na grande maioria, não havia uma relação direta entre os recursos utilizados com um referencial teórico sobre aprendizagem. Tal fato foi considerado um erro pelos pesquisadores, assim como o que já ocorria com outros recursos instrucionais, como livros e vídeos.

Reis *et. al.* (2017) realizaram uma revisão da literatura da década 2007-2016 a fim de evidenciar as formas como as TIC foram apropriadas no ensino de ciências. Ao analisar quase 300 artigos, os autores construíram três categorias pelas quais os estudos foram desenvolvidos: interesse pelas estratégias de uso das TIC, interesse pela funcionalidade e interesse no uso das TIC. Dos artigos resgatados, os autores avaliaram que 47% deles objetivaram o interesse pelo uso das TIC, sem a preocupação de quem utilizará ou como ocorrerá essa utilização. Por fim, os autores reafirmaram a necessidade de pesquisas que busquem investigar diferentes estratégias em torno do uso das TIC.

Uma revisão sistemática mais ampla foi realizada por Silva e Mercado (2019) e tinha como foco o uso de experimentos virtuais no ensino de Física. Os autores analisaram, além de artigos, teses e dissertações e artigos publicados em anais de eventos da área de Ensino de Física. Como resultados, eles elencaram diversas potencialidades do uso de mecanismos digitais encontradas nas pesquisas revisadas. Entre essas potencialidades, destacam-se a possibilidade de visualização de conceitos abstratos, otimização do tempo de aula uma vez que os recursos digitais demandam menos tempo de preparo, repetição sem limites do mesmo experimento, garantia de *feedback* imediato, ampliação do número de sujeitos que podem

manipular os experimentos, desenvolvimento de novas competências pelos estudantes e contribui para o trabalho coletivo.

Gama Junior *et. al.* (2021) revisaram a literatura sobre a integração entre atividades experimentais e computacionais no ensino de Física entre os anos 2007 e 2019. O objetivo dos autores foi identificar quais características da associação das formas de experimentação foram evidenciadas pelas produções analisadas. Mantendo o alinhamento ao escopo almejado, os pesquisadores selecionaram e analisaram 22 trabalhos publicados. Os resultados apontam que a integração das atividades experimentais e computacionais atua como potencializadora na aprendizagem de conceitos físicos uma vez que possibilita diferentes estratégias para diferentes públicos do campo educacional.

Por fim, Silva *et. al.* (2022) realizaram uma revisão da literatura acadêmica especificamente sobre o uso de simulações computacionais em aulas de Física. A pesquisa compreendeu trabalhos publicados entre 2015 e 2021. Dentre os estudos analisados pelos autores, 50% não estavam alicerçados em nenhuma teoria de aprendizagem ou algum referencial epistemológico explícito. Os interesses centrais das pesquisas consistiam no engajamento e interatividade das atividades simuladas, visualização do contexto nos fenômenos apresentados e a abstração nos conteúdos abordados. Em suma, os autores, com base nas publicações analisadas, alegam um grande potencial das simulações como auxiliar no processo ensino e aprendizagem de conceitos físicos na escola básica.

4.2 TEORIA DA MEDIAÇÃO COGNITIVA EM REDE NO ENSINO DE CIÊNCIAS

Após quase 20 anos de sua publicação a Teoria da Mediação Cognitiva em Rede (TMC) tem sido usada como base teórica em diversos estudos, principalmente nos campos da informática, da comunicação e da educação. Na sequência, apresentamos alguns dos mais recentes estudos realizados no ensino de ciências que se estruturaram na TMC como referencial teórico.

Raupp *et. al.* (2010) fundamentaram-se na TMC para investigar as alterações cognitivas de estudantes do ensino médio ao interagirem com *softwares* de construção de modelos moleculares no estudo de isomeria. Segundo os autores,

a partir da análise dos dados sob a luz da TMC, foi possível identificar ganhos cognitivos nos estudantes no que tange às habilidades de representar internamente espécies moleculares mesmo após o fim da interação com o mecanismo digital.

Rocha e Andrade Neto (2013) apontam para a influência da mediação digital na mudança conceitual a respeito da teoria de campo elétrico na estrutura cognitiva de estudantes de cursos de graduação. Os autores utilizaram simuladores computacionais durante a abordagem dos conceitos físicos e, a partir da TMC investigaram como esses artefatos digitais complementam o funcionamento do cérebro a partir de processamento de informações externas.

Ramos e Andrade Neto (2014) também investigaram a mudança na estrutura cognitiva de estudantes de graduação no que tange às capacidades de representação mental de conceitos químicos. Para tanto, os autores analisaram dados coletados dos estudantes após a utilização de *software* de modelagem molecular. Para os autores, a TMC contribuiu para identificar a participação do mecanismo digital na construção de novas representações mentais dos estudantes.

Serrano e Wolff (2014) usaram a TMC como fundamento teórico para a análise dos mecanismos cognitivos que estruturaram as representações mentais dos conceitos associados ao estudo de colisões. O estudo foi realizado com estudantes de cursos de graduação e utilizou análises verbais e gestuais dos estudantes após a interação com simuladores virtuais. Os autores afirmam a evolução das representações mentais com base na utilização de *drivers* hiperculturais.

Na mesma linha, Trevisan e Andrade Neto (2014) investigaram quais representações e *drivers* são adquiridos ou alterados após a utilização de *softwares* como ferramenta didática no ensino de Mecânica Quântica. Os resultados do estudo apontam que, apesar de permitir uma evolução conceitual a partir das mudanças de mecanismos cognitivos pré-existentes nos estudantes, os *softwares* utilizados não foram suficientes para a aquisição de representações mentais de eventos microscópicos mais elaboradas. Na avaliação dos autores, uma possibilidade para esse resultado negativo é a maneira como os mecanismos computacionais representam o fenômeno físico abordado.

Pieper e Andrade Neto (2015; 2018) e Pieper (2019) analisaram, a partir da TMC, o uso de simulação computacional como ferramenta de processamento extracerebral na aprendizagem de conceitos de eletromagnetismo de estudantes do ensino médio e de cursos de graduação. De acordo com os autores, após a utilização

de artefatos digitais como mediadores da aprendizagem foi possível evidenciar a emergência de *drivers* hiperculturais e a utilização desses mecanismos cognitivos na construção de imagens mentais dos estudantes.

Trevisan e Andrade Neto (2016; 2019) investigaram o perfil epistemológico de estudantes de um curso de licenciatura em Física após a mediação da aprendizagem por ferramentas hiperculturais. Os autores estavam interessados em compreender como ocorre a construção do conhecimento sobre a dualidade onda-partícula em Mecânica Quântica com o uso de bancadas virtuais. Os resultados, analisados a partir da TMC, mostraram uma interligação entre as imagens mentais e os *drivers* cognitivos utilizados pelos estudantes. Para além, os autores atentam para futuras investigações da utilização de simulações computacionais como possibilidade de preenchimento de lacunas representacionais de eventos quânticos.

Silva *et. al.* (2019a) também utilizaram a TMC como aporte teórico para investigar o desenvolvimento de habilidades visuoespaciais de estudantes do ensino médio sobre o conceito de isomeria geométrica a partir da utilização do *software* ChemsSketch⁹. Para os autores, o uso do artefato digital possibilitou um ganho cognitivo dos estudantes, uma vez que os mesmos passaram a representar os compostos moleculares com características visuoespaciais mais claras.

Meggiolaro e Serrano (2020) e Meggiolaro *et. al.* (2021) embasaram um estudo sobre os mecanismos externos de mediação na aprendizagem do conceito de carga elétrica na TMC. Para isso, os autores investigaram a influência da utilização do *software* GeoGebra¹⁰ na resolução de situações-problema na estrutura cognitiva de estudantes de graduação. Os resultados mostram que, apesar da importância dos mecanismos externos de mediação do tipo psicofísico, cultural e hipercultural na aprendizagem do conceito físico proposto, a mediação social foi a que se sobressaiu nos dados coletados.

Fröhlich e Meggiolaro (2021) descrevem a construção de um guia de atividades sobre conceitos químicos a partir da utilização de um simulador virtual disponível na plataforma *Phet* Colorado¹¹. Para a validação do estudo, as autoras aplicaram o guia de atividades com a participação de estudantes e professores de

⁹ <https://www.acdlabs.com/resources/free-chemistry-software-apps/chemsketch-freeware/>

¹⁰ <https://www.geogebra.org/?lang=pt>

¹¹ https://phet.colorado.edu/pt_BR/

graduação. Os dados foram analisados sob a luz da TMC e mostram que a utilização do dispositivo virtual influenciou positivamente na aprendizagem dos conceitos de reagentes, produtos e excessos, possibilitando a visualização dos conceitos explicados teoricamente.

Freitas e Serrano (2021) realizaram um estudo sobre a aprendizagem significativa do conceito do modelo atômico de Bohr em estudantes do último ano do ensino fundamental a partir de uma sequência didática estruturada nos mecanismos de mediação descritos pela TMC. As análises dos dados demonstraram que, apesar de todas as formas de mediação descritas pela TMC contribuírem para o ensino do conceito abordado, as mediações psicofísica e hipercultural foram as que mais favoreceram nas evidências encontradas sobre a aprendizagem significativa.

Anjos e Andrade Neto (2021a) propuseram a construção de um espectrofotômetro de baixo custo com atividades realizadas por meio de dispositivos celulares para estudantes de graduação. Ancorados na TMC, os autores utilizaram-se da técnica P.O.E. (Predizer-Observar-Explicar) para investigar a emergência dos mecanismos cognitivos utilizados pelos estudantes na aprendizagem do fenômeno de emissão de luz. Como resultados, os pesquisadores afirmam haver a criação de *driver* de natureza hipercultural que corroborou na compreensão dos fenômenos estudados. Em outro estudo, Anjos e Andrade Neto (2021b) investigaram a ação da programação no *software* Scratch¹² associada a atividades lúdicas como recurso didático na aprendizagem de conceitos de cinemática de estudantes de ciências do nível fundamental. Estruturados na TMC, os autores analisaram as imagens mentais construídas pelos estudantes e concluíram que os mesmos produziram explicações para os fenômenos com base em *drivers* psicofísico e/ou hipercultural. Por fim, afirmam que a combinação de recursos digitais e lúdicos pode favorecer a aprendizagem de conceitos físicos de cinemática a partir de novas representações mentais.

Mais recentemente, Picanço et. al. (2022) fundamentaram-se na TMC articulada com a Tecnologia Assistiva, para investigar o uso de recursos digitais no processo de aprendizagem de Física para estudantes surdos. Os autores utilizaram quatro recursos digitais (*website*, questionários digitais, aplicativo de Realidade Aumentada e vídeos com legenda e tradutor) como mediadores hiperculturais em uma

¹² <https://scratch.mit.edu/>

Unidade de Ensino Inclusiva. Baseados nos pressupostos da TMC os autores classificaram os recursos digitais para o ensino de ciências e matemática para surdos em três categorias: ferramentas de digitalização da realidade, ferramentas de modelagem e ferramentas de comunicação. Por fim, concluíram que essa classificação permite enquadrar as ferramentas digitais em situações pedagógicas mais efetivas para o ensino de ciências e matemática em comunidades escolares de surdos.

4.3 BRUNO LATOUR E O ENSINO DE CIÊNCIAS

As obras de Bruno Latour influenciam diversos pesquisadores da área de educação e ensino de ciências na tentativa de desenvolver uma nova perspectiva teórico-metodológica para essa modalidade da educação formal. A seguir, apresentamos alguns exemplos de estudos resgatados que relacionaram o pensamento latouriano ao ensino de ciências.

Oliveira (2006), vanguardista na perspectiva latouriana para a educação em ciências, discorre sobre a articulação entre os estudos antropológicos da ciência de Latour e sua apropriação como recurso teórico-metodológico em pesquisas em laboratórios de ciências do ensino médio. Após uma exposição dos principais conceitos utilizados por Latour na descrição da construção de um fato científico, o autor discorre, na forma de ensaio teórico, como a visão latouriana pode contribuir para o entendimento do fazer ciência a partir da análise da dinâmica do laboratório escolar. O autor conclui que o pensamento latouriano pode ser frutífero para compreender os jogos discursivos e mediativos de um laboratório escolar, e deixa o convite para novos estudos que investiguem a construção dos enunciados científicos em laboratório como método implexo na prática educativa.

Cappelle e Coutinho (2015) desenharam um ensaio teórico sobre o estudo de uma controvérsia entre Darwin e Sachs na consolidação da fisiologia vegetal como área de estudos frente à comunidade científica do século XIX. Os autores descrevem uma reinterpretação dos eventos e contextos históricos envolvidos na construção de argumentos que ajudaram a consolidar esse campo a partir da perspectiva latouriana. Após apresentar esse modo de análise de controvérsias e alguns vocábulos

latourianos que permitem o contato com a ciência em construção, os autores argumentam sobre a necessidade de revisão dos processos educacionais no âmbito da educação científica e tomam como possibilidade de superação da mecanização do ensino uma abordagem teórico-metodológica a partir do pensamento latouriano.

Gonçalves e Borges (2016) usaram a Teoria Ator-Rede para analisar como professores dos anos iniciais do ensino fundamental compreendiam o planetário no processo ensino-aprendizagem de astronomia. O objetivo das autoras foi identificar se os professores consideravam o planetário como mediador da aprendizagem e as situações em que ele atuava apenas como intermediário dos enunciados. Os dados apontam que o planetário atuou como mediador a partir de uma ação planejada e intencional realizada pelos professores investigados, mostrando, assim, a influência de um dispositivo não humano na construção do conhecimento.

Massoni e Moreira (2017) apresentam um texto no qual descrevem a visão da natureza da ciência a partir do pensamento latouriano e o distanciamento desse pensador da epistemologia tradicional. Evidenciam a produção dos híbridos no laboratório e o potencial dessa perspectiva antropológica para a educação científica. Os autores argumentam que o ensino de ciências deve fomentar a reflexão sobre a produção dos fatos científicos para corroborar com o desenvolvimento de uma consciência crítica dos estudantes.

Castro e Oliveira (2018) fundamentaram-se na noção latouriana de tradução para interpretar a dicotomia humano-natureza. Exploraram, também, o conceito de Gaia na problematização da natureza e concluem apontando algumas potencialidades dessa abordagem no contexto da educação ambiental.

Estevinho e Carvalho (2018) realizaram uma leitura de livros didáticos de Biologia à luz da concepção latouriana de ciência em movimento a fim de identificar as traduções implícitas às setas utilizadas nesses materiais. As autoras argumentam que o estabelecimento de um fluxo pré-determinado do fazer ciência por meio de setas enclausura o estudante em uma leitura linear de mundo e que a análise de tais objetos sob a ótica de Latour pode contribuir para o entendimento da complexidade da produção científica.

Também em 2018, Gomes e Oliveira discutiram sobre um vídeo de divulgação científica a partir da teorização sobre enunciados proposta por Latour. O objetivo foi identificar, no discurso do divulgador, estratégias de arregimentação de aliados na circulação de enunciados da química e o seu deslocamento para lugares diferentes

das instituições dos quais são naturalizados. De acordo com os autores, a hibridação do divulgador em jornalista-cientista-professor é um dos fatores de sucesso do canal de vídeos e que possibilita colocar os elementos que constituem o enunciado em movimento constante.

Lima *et. al.* (2018) discutiram sobre a visão não-moderna de Latour como fundamento teórico para a Educação em Ciências. Da mesma forma que os autores anteriores, o grupo apresentou a concepção de abandono da ruptura ontológica entre sociedade e natureza a fim de compreender a produção do conhecimento científico. Para além, esses pesquisadores discutem sobre quatro possíveis implicações da filosofia latouriana para a educação científica. Segundo eles, o ensino de ciências pode ser mais profícuo se apropriar da visão latouriana para: mostrar a ciência em ação e não a ciência como pronta; abandonar o mito do gênio e a universalidade dos entes ao estudar os processos e não os produtos; desenvolver as redes que constituem o universo científico; e desenvolver a capacidade de leitores-escritores dos estudantes. Com isso, os autores propõem uma profunda revisão do ato de ensinar e aprender na educação em ciências.

Em outro estudo, Lima *et. al.* (2019) refletem sobre as implicações da modernidade e da pós-modernidade no surgimento de pós-verdades no ensino de ciências. Como forma de subverter os discursos anticientíficos, os autores ancoram-se nos estudos antropológicos da ciência de Latour e propõe a abordagem da natureza da ciência como rede sustentada por proposições científicas.

Nessa mesma linha de argumentação, Zanatta e Saavedra Filho (2020) discutem sobre o estabelecimento das verdades científicas ao longo da história e a ruptura interpretativa dada por Latour em seus *Science Studies*. De modo particular, os autores discorrem sobre a produção de conceitos da Física Moderna como híbridos latourianos e a possibilidade de sua abordagem no processo ensino e aprendizagem com estudantes do ensino fundamental a partir da mediação por tecnologias digitais de informação e comunicação. Os autores argumentam, por fim, que a compreensão conceitual dos híbridos produzidos pelos coletivos científicos é tão importante quanto a compreensão da rede sociotécnica do qual participam.

Ainda sobre as discussões acerca do papel da educação científica como contraponto à crise da verdade na contemporaneidade, Barcellos (2020) discute sobre a postura pedagógica antidialógica e o discurso científico autoritário como objeção à popularização da ciência. Fundamentando-se na ecologia política e na construção dos

coletivos propostos por Latour, a autora argumenta sobre a necessidade do entendimento de um mundo comum, onde todos os atores, humanos e não humanos, agem para sustentar a rede sociotécnica do conhecimento científico. Dessa forma, pode-se pensar em um ensino de ciências não autoritário e ao mesmo tempo contextual que possibilite um debate pleno, honesto e sensível.

Do mesmo modo, Vilela e Selles (2020) analisam o papel da educação científica crítica em um período marcado pelo negacionismo científico e também propõem a apropriação do argumento latouriano de que a modernidade e a pós-modernidade pode ter contribuído para a desfiguração da crítica ao positivismo e empirismo epistêmicos. As autoras argumentam para a necessidade de compreensão das relações entre o conservadorismo e seus interesses na difusão de discursos negacionistas. Ainda, defendem a possibilidade da aprendizagem narrativa na educação científica como modo de enfrentamento dos processos de rupturas dos sujeitos da aprendizagem da própria aprendizagem, além do favorecimento do entendimento do conhecimento científico como reticular e multifatorial.

Ozelame (2020) disserta sobre os fundamentos da produção da Ciência a partir do discurso de coerção social sobre a atividade científica e da determinação causal da natureza no estabelecimento do conhecimento científico. O autor problematiza esses temas fundamentando-se no pensamento Latouriano sobre as noções de causa e consequência e de seu conceito de mediação. Por último, o autor argumenta que a extensão das reflexões latourianas para o campo das pesquisas educacionais pode contribuir para uma análise que recompõem os próprios fundamentos que constroem os coletivos denominados Educação e Ensino de Ciências.

Peron e Guerra (2021) realizaram um estudo fundamentado na História Cultural da Ciência para investigar as potencialidades de uma abordagem historiográfica do conceito de dualidade onda-partícula proposto por Louis de Broglie. Como apoio teórico, os autores apropriaram-se da etnografia latouriana de descrição da produção e estabilização de um conceito científico – construção de caixa-preta. O eixo central do estudo foi analisar quais questões envolvidas na validação de um produto científico são observadas em aulas de ciências quando se discute esse processo de validação a partir da divulgação científica entre pares. De acordo com os autores, essa abordagem possibilitou uma problematização das visões iniciais dos

estudantes acerca da atividade científica, indicando, por exemplo, a agência dos não-humanos na validação do conhecimento científico.

Moraes e Vianna (2021) analisaram o desenvolvimento de uma oficina investigativa sobre força magnética a partir de tubos catódicos para estudantes do ensino médio. O objetivo dos autores foi identificar a estabilização de controvérsias, conceito latouriano, durante a atividade didática. Os autores argumentam que essa perspectiva permitiu vislumbrar a construção do pensamento científico dos estudantes a partir de debates, diálogos e enunciação de discursos.

Na linha dos ensaios teóricos, Melo *et. al.* (2022) realizaram um estudo sobre a história da ciência envolvida no desenvolvimento da genética por Gregor Mendel a partir da ótica latouriana de arregimentação de atores. O trabalho buscou desmistificar a ideia de genialidade isolada na ciência apresentando os elementos humanos e não humanos associados na construção da rede da qual Mendel se destacou. A descrição através da teoria Ator-Rede é considerada pelos autores uma possibilidade menos artificial da produção e circulação dos conhecimentos produzidos pelos coletivos científicos.

4.4 ALGUMAS CONSIDERAÇÕES SOBRE OS TRABALHOS PESQUISADOS

Ao final da revisão da literatura, verifica-se que a utilização de mecanismos digitais no ensino de ciências tem sido objeto de estudo de diversos pesquisadores nas últimas décadas. Como já indicado anteriormente, o cerne das pesquisas realizadas estava na análise das potencialidades e dos limites dos artefatos digitais ou das metodologias de apoio ao incluir tais mecanismos no processo ensino-aprendizagem de ciências da natureza. No entanto, uma análise simétrica dos actantes humanos e não humanos que se associam durante o processo ensino-aprendizagem, descrevendo a rede da aprendizagem mediada por recursos digitais, escopo desta pesquisa, não foi encontrada nas bases de dados utilizadas, o que demonstra a pertinência e o caráter original do pressuposto teórico deste trabalho.

Com relação aos estudos que utilizaram a Teoria da Mediação Cognitiva em Rede (TMC) para avaliar as implicações da mediação digital no ensino de conceitos das ciências da natureza, observa-se que o ponto convergente entre os

pesquisadores está na análise dos tipos de mecanismos cognitivos acionados pelos estudantes ao construírem representações mentais coerentes com o conhecimento científico. Não foram localizados estudos que relacionaram a TMC com a simetria generalizada de Bruno Latour, o que corrobora nossa observação anterior.

Por fim, sobre as publicações acerca da concepção latouriana e o ensino de ciências, verifica-se que, apesar de grande parte da obra teórica de Bruno Latour estar traduzida para o português há mais de 30 anos, a sua interpretação antropológica da natureza da ciência tem servido de fundamento teórico para pesquisadores do campo educacional de forma mais intensificada na última década, com destaque para o período pandêmico e pós-pandêmico da Covid-19 como contraponto aos discursos negacionistas e de ceticismo científico. Entretanto, não há na literatura pesquisada estudos que se arquetam na concepção latouriana de associação de elementos heterogêneos de humanos e não humanos na construção de mecanismos cognitivos híbridos no processo ensino-aprendizagem em ciências da natureza.

Diante do panorama apresentado pela revisão da literatura, considerou-se o potencial do pensamento latouriano para a investigação do próprio processo ensino-aprendizagem de conceitos não sensoriais da Física Moderna e Contemporânea, especialmente o conceito de fusão nuclear, mediado por tecnologias digitais. Nos dois capítulos seguintes, discutimos essa área das ciências da natureza prevista nos marcos legais da educação brasileira e apresentamos os fundamentos teóricos que utilizamos para investigar o objeto de estudo proposto.

5 METODOLOGIA

Neste capítulo apresentamos a classificação e os delineamentos adotados nesta pesquisa, o teste piloto, a aplicação da pesquisa, os instrumentos de coleta e análise dos dados.

5.1 CLASSIFICAÇÃO FORMAL DA PESQUISA

Esta é uma pesquisa que investiga a construção de um novo modo de existência, em âmbito educacional, a partir da imbricação de diferentes redes de proposições em uma sala de aula de ciências da natureza com a mediação por tecnologias digitais. Dessa forma, para classificá-la formalmente, optamos por um amálgama entre os preceitos tradicionais da metodologia científica com as diretrizes propostas por Latour para estudar os modernos.

Destarte, quanto aos métodos, esta pesquisa se alinha com a Cartografia das Controvérsias (CC) proposta por Latour e descrita por Venturini (2010; 2012). De acordo com esse autor, a CC é um método de observação e descrição das complexidades de tensão entre os atores, isto é, das controvérsias¹³. Nas palavras de Lemos (2013, p. 106), “a controvérsia é o momento ideal para revelar a circulação da agência, a mediação, as traduções entre actantes, a constituição de intermediários, as relações de força, os embates antes de suas estabilizações como caixas-pretas”. Dessa forma, nesta pesquisa a controvérsia é entendida como as relações entre humanos e não humanos na construção de mecanismos de cognição e, como tal, seu desenho deve partir dos movimentos das mediações em sala de aula. Derivada da Teoria Ator-Rede ¹⁴(TAR), a CC é, por vezes, interpretada como uma simplificação da

¹³ Nas controvérsias, os atores estão incessantemente engajados em amarrar e desatar relações, discutindo categorias e identidades, revelando o tecido da existência coletiva (VENTURINI, 2012).

¹⁴ A Teoria Ator-Rede (TAR) é uma abordagem teórica e metodológica que busca entender como as relações sociais e os fenômenos tecnológicos são construídos e mantidos através das interações entre atores humanos e não humanos. Desenvolvida por sociólogos e filósofos como Michel Callon, Bruno Latour e John Law, a TAR desafia as noções tradicionais de agência e estrutura, enfatizando a importância da interconexão e das redes de atores na formação de realidades sociais. A TAR parte do pressuposto de que tanto os seres humanos quanto os objetos técnicos têm capacidades e agências, ou seja, eles podem agir e influenciar o mundo ao seu redor. Na perspectiva da TAR, os atores humanos

TAR uma vez que deixa de lado qualquer teoria social, bem como qualquer metodologia social (VENTURINI, 2010). Entretanto, para Venturini (2010), a CC é tão complexa quanto a TAR, visto que a observação não deve se restringir à uma única teoria ou metodologia; deve considerar tantos pontos de vista quanto possível; e considerar as vozes dos atores mais do que as próprias presunções do observador. Conforme discutido na seção 4.3 dos fundamentos teóricos, a simetria da análise entre humanos e não humanos parte da premissa da inexistência de fronteiras ontológicas e da atenção aos fenômenos do meio. Desta forma, a CC assume nesse trabalho a função de

“desenhar” a distribuição das ações, de seguir os actantes, de visualizar os diagramas da mediação, agenciamentos e de revelar cosmogramas. [...] Podemos dizer que a CC é um conjunto de técnicas para explorar e visualizar polêmicas, questões emergentes em determinados agrupamentos, o movimento, a circulação da ação e a fluidez das mediações, revelando as diversas dimensões que compõem uma rede sociotécnica (LEMOS, 2013, p. 110).

Deste modo, a opção pela utilização da técnica de Análise de Conteúdo (descrita na seção 5.6.1) ocorreu, portanto, alinhada à elementos da Cartografia de Controvérsias (LEMOS, 2013; VENTURINI, 2010; 2012). De acordo com essa metodologia, o uso de diferentes técnicas deve ser explorado para desenhar as diversas relações que compõem o problema de estudo. Uma vez que o sentido produzido nos dados coletados e que não é traduzido por uma articulação linguística, será explorado pela Análise Gestual Descritiva (descrita na seção 5.6.2), a Análise de Conteúdo objetivou extrair informações sobre a utilização dos mecanismos cognitivos utilizados pelos estudantes a partir da mediação por simuladores virtuais, evidenciando as formas de mediação adotadas na explicação fenomenológica dos conceitos de comportamento atômico sob calor e de fusão nuclear. Em outras palavras, buscou-se a materialidade linguística através das condições empíricas dos textos dos questionários e das transcrições dos áudios e das entrevistas realizadas, uma vez que o conteúdo desses dados gerou as evidências almejadas. Para além, o ponto fulcral desta pesquisa é a investigação de uma realidade construída na

e não humanos são igualmente importantes na formação das redes sociais e tecnológicas. Essa abordagem destaca que não é apenas a ação humana que molda o mundo, mas também a ação de objetos, tecnologias e instituições.

mediação digital, ou seja, não foram considerados os aspectos histórico-ideológicos que constituem a materialidade do contexto sócio histórico dos discursos dos estudantes. Dessa forma, a Análise de Conteúdo é apenas uma parte dos movimentos de análise e interpretação realizadas, visto que, isoladamente ela não é capaz de fornecer subsídios essenciais para a construção da cartografia pretendida, isto é, aqueles que não são expressados de maneira clara e evidente, para desenhar as diversas nuances das redes sociotécnicas exploradas neste estudo.

À vista disto, esta é uma pesquisa essencialmente de caráter qualitativo, pois se preocupa, sobretudo com a análise e a interpretação de questões mais profundas que os dados estatísticos do método quantitativo, buscando detalhar a complexidade do comportamento humano (MARCONI; LAKATOS, 2019), aqui, particularmente, com os movimentos de hibridação entre humanos e não humanos na cognição do conceito de fusão nuclear de estudantes do ensino fundamental.

O desenvolvimento desta pesquisa ocorre na área de Ciências Humanas estabelecida pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) quando se arquiteta sobre conceitos da Educação, da Filosofia, da Psicologia, da Antropologia e da Sociologia. Em relação à finalidade, isto é, sua natureza e a utilização dos resultados, classifica-se como aplicada, pois está voltada para a aquisição de conhecimentos a partir da resolução de um problema específico, a aprendizagem do conceito de fusão nuclear por meio da mediação digital numa perspectiva não-moderna de hibridação de humanos e não humanos na sala de aula de ciências da natureza.

Quanto aos propósitos, esta pesquisa pode ser classificada preponderantemente como descritiva com elementos exploratórios na medida em que busca identificar relações entre variáveis, isto é, a construção do conhecimento a partir da associação de subprogramas de ação, a emergência de *drivers* extracerebrais no processo de mediação digital e a construção de representações mentais a partir de processamento de informações. O caráter exploratório deriva do interesse em considerar os mais variados aspectos relativos à aprendizagem do conceito de fusão nuclear no ensino fundamental da educação básica. Além disso, se aplica como exploratória uma vez que se propõe analisar um contexto acadêmico pouco explorado atualmente: o processo de hibridação de atores humanos e não-humanos na construção do conhecimento de estudantes de ciências da natureza do ensino fundamental.

Isto posto, a fim de desenhar as complexas relações e associações entre estudantes-TIC-conhecimento científico em sala de aula de ciências da natureza a partir da assimilação dos rastros¹⁵ deixados pelos actantes, foi construído um protocolo de investigação que combina uma sequência didática estruturada na mediação por simuladores virtuais, a gravação de áudio das aulas, questionários e entrevistas semiestruturadas com apreensão gestual dos participantes por vídeo, com o objetivo de interpretar o uso de mecanismos cognitivos dos envolvidos antes, durante e após a intervenção por meio da mediação digital no ensino.

5.2 TESTE-PILOTO

Para a elaboração da versão final da sequência didática e dos instrumentos de coleta de dados desta pesquisa, foi realizado um teste-piloto com a versão apresentada no exame de qualificação desta pesquisa, ocorrida em abril de 2021.

Este teste-piloto, com quantidade de encontros igual à versão final da sequência didática construída (apresentada na seção 5.5.2), foi aplicado em três turmas do nono ano do ensino fundamental, que juntas somaram 82 estudantes, em uma escola pública municipal onde o pesquisador também atua como professor. Apesar de não ser a mesma unidade educacional onde a pesquisa foi realizada, ambas as escolas se encontram na mesma região da cidade de Curitiba (Bairro Cidade Industrial), o que assegurou semelhanças entre os aspectos socio-econômico-culturais dos estudantes estudados.

Por lidar com conceitos previstos no currículo da Rede Municipal de Educação de Curitiba, as etapas de aplicação do teste-piloto seguiram o cronograma de aulas de ciências de cada turma. As simulações utilizadas contemplavam: 1) a estrutura da matéria; 2) a influência da temperatura e da pressão nas partículas microscópicas; e 3) a fusão de núcleos de hidrogênio com a produção de hélio e a liberação de energia. Para cada uma das simulações seguiu-se um caminho metodológico fundamentado

¹⁵ De acordo com Lemos (2013, p. 119) na cartografia das controvérsias, “um rastro é um vestígio de uma ação efetuada por um actante em qualquer situação. [...] é uma marca produzida por dispositivos de percepção: sejam eles óticos, cognitivos, digitais. Rastros são produzidos, seja a partir de instrumentos de inscrição, seja a partir de teorias ou metodologias de escuta”.

na dialogicidade e na resolução de problemas. Todas as aulas foram registradas em áudio e as entrevistas registradas em áudio e vídeo. Todos os estudantes presentes nas aulas participaram das atividades didáticas e responderam aos questionários inicial e posterior. Cinco estudantes de cada turma foram convidados a participar da entrevista e, ao final, 12 aceitaram o convite.

Finalizada a aplicação nas turmas experimentais, foi possível identificar situações que necessitavam de revisões antes da aplicação final. Inicialmente, percebeu-se a necessidade de uma descrição mais detalhada sobre a estrutura atômica, especialmente a organização particular, a força nuclear e a coesão estrutural do átomo. Percebeu-se que o entendimento desses fatores contribui diretamente para a construção de imagens mentais sobre as condições necessárias para o processo de fusão nuclear.

Outra alteração realizada foi a inclusão de mais um simulador sobre fusão nuclear; este especificamente sobre a fusão nuclear no interior do Sol. A principal vantagem desse simulador é a possibilidade de visualização da ocorrência da fusão de vários núcleos atômicos concomitantemente, já que o primeiro simulador mostra apenas um caso isolado.

Por fim, identificou-se, ainda, a necessidade de mudanças no encaminhamento das questões da entrevista. Para contemplar os aspectos metodológicos da técnica *Report Aloud*, as questões deveriam conduzir à produção de respostas com caráter mais qualitativo, isto é, que descrevessem mais os aspectos conceituais dos fenômenos simulados deixando em segundo plano o caráter quantitativo e algorítmico de tais fenômenos.

5.3 INSTRUMENTOS DE COLETA DE DADOS

Apresentamos nesta seção os instrumentos de coleta de dados utilizados nesta pesquisa.

5.3.1 Questionários Inicial e Posterior

De acordo com Marconi e Lakatos (2021, p. 322), “o questionário é um instrumento de coleta de dados que compreende um conjunto de perguntas previamente elaboradas que [...] deve ser respondido por escrito e enviado ao pesquisador”. Para esta pesquisa, foram construídos dois questionários: 1) questionário inicial, composto por 10 questões fechadas que buscou caracterizar os sujeitos da pesquisa e 2 questões abertas que investigou as representações mentais e os mecanismos cognitivos prévios dos estudantes ao explicar fenômenos que se baseiam no conceito de fusão nuclear; e 2) questionário posterior, composto por duas questões abertas que buscou identificar, de forma pictórica, as representações mentais dos estudantes após a mediação digital na aprendizagem do conceito de fusão nuclear. Os questionários foram validados na banca de qualificação desta pesquisa e na aplicação do teste piloto.

5.3.2 Entrevistas Semiestruturadas

A entrevista é um intercâmbio de comunicação entre o pesquisador e o entrevistado a fim de fazer com que o primeiro compreenda as perspectivas, experiências e significados que o segundo possui sobre determinado assunto ou problema (MARCONI; LAKATOS, 2021). As entrevistas realizadas nesta pesquisa foram do tipo semiestruturada e individualizada, construída com questões estruturadas no questionário posterior e questões livres a fim de explorar elementos não expressos na parte estrutural.

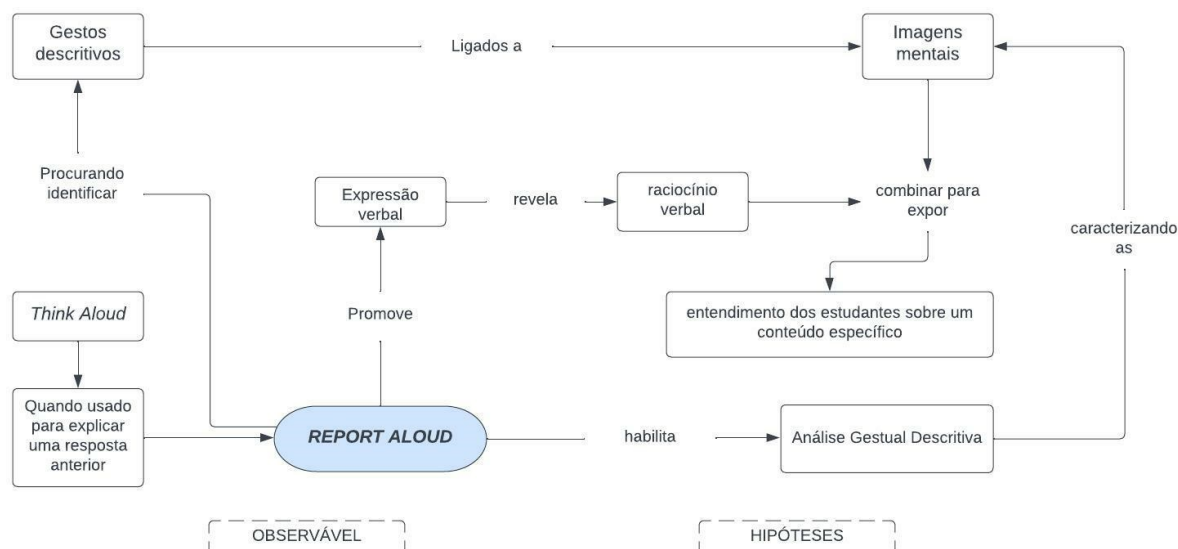
Para além, considerando que nos diversos âmbitos dos processos de aprendizagem no ensino de Ciências, formais ou informais, a exteriorização verbal dos experimentos mentais utilizados pelos sujeitos da aprendizagem atua como mecanismos de organização, adaptação, modelização e contextualização dos conceitos aprendidos, a dialogicidade constante entre o pesquisador e o sujeito pesquisado durante uma entrevista torna-se fonte para obtenção de uma quantidade maior de informações sobre o tema investigado (TREVISAN, 2020). Entretanto, o diálogo não pode ser arbitrário, uma vez que a coesão entre o objeto de investigação e os caminhos metodológicos adotados é fundamental para o alcance dos objetivos

propostos pela pesquisa. Deste modo, adotamos o protocolo *Report Aloud* (TREVISAN *et al.*, 2019) como recurso para alcançarmos as representações mentais dos estudantes pesquisados.

Report Aloud é uma técnica de pesquisa adaptada a partir do protocolo *Think Aloud*, onde o estudante de ciências relata em voz alta ao entrevistador seu processo de pensamento utilizado para resolver questões específicas (TREVISAN *et al.*, 2019). Ainda de acordo com os proponentes desse protocolo, a principal diferença entre o *Report Aloud* e o *Think Aloud* é que no método *Think Aloud* o entrevistador mantém um diálogo constante com o entrevistado para que este relate o que está pensando durante a execução de uma tarefa. Já no protocolo *Report Aloud*, o estudante primeiro resolve as questões e somente depois relata seu processo de pensamento usado para resolvê-las. Assim, o objetivo dessa técnica é “extrair o máximo possível de informações acerca dos processos cognitivos desempenhados pelos estudantes, quando incentivados a expressar-se sobre determinados conteúdos de conhecimento” (TREVISAN, 2020, p. 145).

Para tanto, na condução do protocolo *Report Aloud*, a entrevista é gravada em áudio e vídeo e sua transcrição deve ser realizada em conjunto com a identificação de possíveis gestos descritivos efetuados pelos estudantes no curso de suas explicações (TREVISAN, 2020). Os gestos, nesse sentido, assumem um caráter significativo pois podem transmitir informações que de outra forma são quase impossíveis de se comunicar sempre que houver uma dificuldade de expressão verbal (TREVISAN *et al.*, 2019). De acordo com esse protocolo, é na combinação entre as expressões verbais e os gestos descritivos utilizados pelos estudantes durante a entrevista que o pesquisador poderá acessar o entendimento do sujeito investigado sobre um conteúdo específico. Um resumo desse processo pode ser observado na figura 9.

Figura 9 - Esquema do processo *Report Aloud*.



Fonte: Adaptado de Trevisan et. al. 2019, p. 661.

5.4 PRODUÇÃO DOS DADOS

Para a coleta dos dados analisados neste trabalho, construímos uma sequência didática que considerou a realidade da sala de aula de ciências no ensino fundamental com os aportes materiais disponíveis na instituição pública onde a pesquisa foi realizada. A seguir, apresentamos essa sequência didática dividida em três etapas: 1) Dados iniciais; 2) Movimentos pedagógicos; e 3) Dados posteriores.

5.4.1 Dados Iniciais

O primeiro momento da sequência didática foi destinado a coletar os dados iniciais da pesquisa a partir do questionário inicial (Apêndice 01). Esta etapa teve duração de uma aula de 50 minutos e ocorreu durante o horário da aula de ciências estabelecido pela instituição de ensino para a turma pesquisada.

5.4.2 Movimentos pedagógicos

Os movimentos pedagógicos correspondem às aulas da sequência didática construída para a abordagem do conceito científico de fusão nuclear. Como descrito no capítulo 3, o conceito de fusão nuclear foi abordado a partir do previsto na unidade temática Terra e Universo, objeto de conhecimento Evolução Estelar da área de Ciências da Natureza da Base Nacional Comum Curricular (BNCC) do 9º ano do ensino fundamental. Dessa forma, o conceito físico de fusão nuclear participou das discussões sobre a natureza dos campos gravitacionais e a produção de elementos químicos massivos no núcleo de estrelas durante seu ciclo de vida. O quadro 5 apresenta a sequência de aulas que objetivou a aprendizagem do conceito de fusão nuclear ocorrida durante o primeiro semestre de 2022, no formato presencial.

Quadro 5 - Detalhamento da sequência didática utilizada nesta pesquisa.

| Aula | Objetivo | Desenvolvimento |
|------|---|---|
| 01 | Exteriorizar as concepções de senso comum sobre campo gravitação. | <ul style="list-style-type: none"> • Apresentação de dois vídeos curtos sobre a ação da gravidade sobre os corpos: 1) o fenômeno das marés (disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=k6Ggmkcsm0, acesso em 18 de março de 2021); 2) Astronauta filma órbita completa na Terra (disponível em https://www.youtube.com/watch?v=TXIKqTSoJo, acesso em 18 de março de 2021); • Apresentação de uma notícia sobre a primeira imagem capturada de um buraco negro (disponível em: https://revistagalileu.globo.com/Ciencia/noticia/2019/04/o-que-realmente-e-possivel-ver-na-imagem-do-buraco-negro.html acesso em 16 de março de 2021); • Após as apresentações pelo professor, iniciou-se um diálogo sobre as diferenças dos campos gravitacionais em cada situação apresentada e o professor direcionou as discussões para a emergência das concepções sobre a natureza dos campos gravitacionais; • As concepções dos estudantes foram registradas pelo professor. |
| 02 | Conhecer o princípio einsteiniano de deformação do tecido espaço-tempo. | <ul style="list-style-type: none"> • A aula iniciou com as discussões das concepções elencadas na aula anterior; • O professor apresentou a ideia de Einstein sobre a curvatura do tecido espaço-tempo; • O professor demonstrou a simulação do espaço-tempo einsteiniano partir de um modelo didático, conforme a figura 10. |

Figura 10 - Modelo didático para simulação do tecido espaço-tempo.



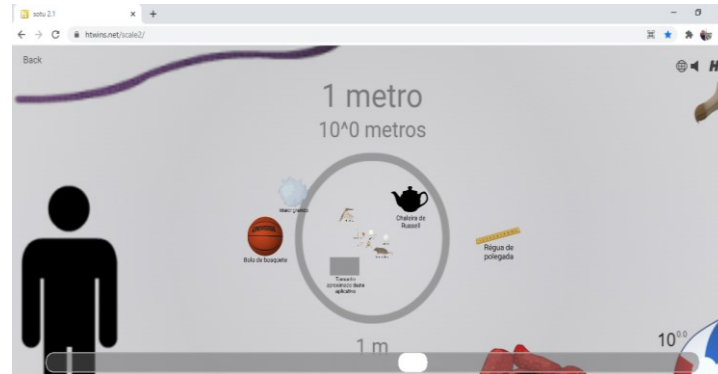
Fonte: Autoria própria (2022).

- Durante as simulações o professor atuou como problematizador dos fenômenos observados a fim de elencar as hipóteses iniciais dos estudantes direcionando para a relação das massas dos corpos com a distorção do tecido espaço-tempo;
 - Para problematizar a ideia de curvatura do tecido espaço-tempo de forma mais aprofundada, foi utilizado um vídeo sobre o eclipse de Sobral/CE (disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=bfQghp63uFU>, acesso em 18 de março de 2021), que comprovou a teoria einsteiniana de que a luz também sofre ação do campo gravitacional.
 - Os diálogos foram registrados pelo professor.
- Utilizando as produções dialógicas das aulas anteriores, o professor direcionou a discussão para entender a origem da massa dos corpos e consequente origem da curvatura do tecido espaço-tempo;
 - Como ferramenta didática, foi utilizado o *software* Escala do Universo (disponível em <https://htwins.net/scale2/>, acesso em 22 de fevereiro de 2021). O propósito do *software* foi analisar o Universo em diferentes escalas métricas, que variam de 10^{-35} metro a 10^{27} metros. A interface do *software* pode ser observada na figura 11.

03

Compreender a constituição da matéria.

Figura 11 - Interface do software Escala do Universo.



Fonte: Disponível em <https://htwins.net/scale2/> (Acesso em 22 de fevereiro de 2021).

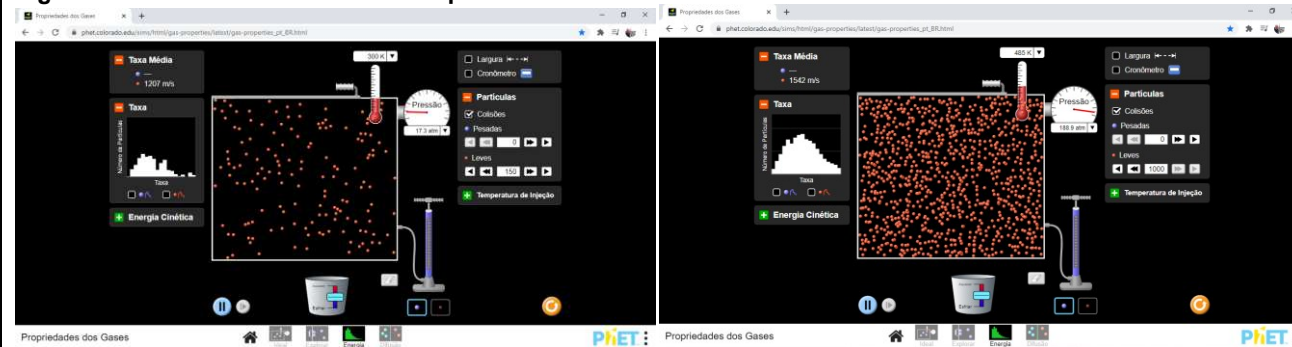
- A discussão durante a manipulação do *software* foi direcionada ao entendimento da constituição da matéria e, também, para dar unicidade aos temas selecionados, indo do macro (estrutura do Universo, espaço-tempo) ao micro (estrutura da matéria, modelo padrão de partículas);
- O professor apresentou a estrutura atômica aos estudantes, dando ênfase à região nuclear e as subpartículas que a constitui;
- Os diálogos foram registrados pelo professor.

04

Compreender o comportamento das partículas sob ação da temperatura e da pressão.

- O professor iniciou a aula inquirindo sobre a influência da pressão na mudança da temperatura dos corpos;
- A ferramenta didática de apoio foi o simulador virtual Propriedade dos Gases (disponível em https://phet.colorado.edu/sims/html/gas-properties/latest/gas-properties_pt_BR.html acesso em 16 de março de 2021). O objetivo do simulador foi demonstrar o comportamento dos gases em diferentes situações de pressão e temperatura. A interface do simulador pode ser observada na figura 12.

Figura 12 - Interface do simulador Propriedade dos Gases.



Fonte: Disponível em https://phet.colorado.edu/sims/html/gas-properties/latest/gas-properties_pt_BR.html (Acesso em 16 de março de 2021).

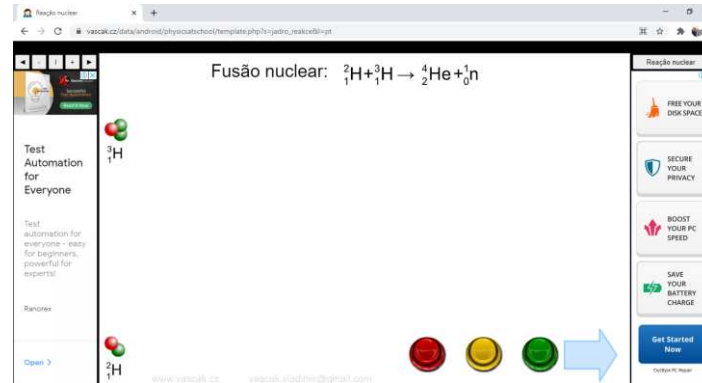
- Os estudantes foram impelidos à observação do comportamento das partículas em diferentes situações de pressão e temperatura;
- Os diálogos foram registrados pelo professor.

05

Compreender a fusão nuclear como responsável pela formação de elementos mais pesados.

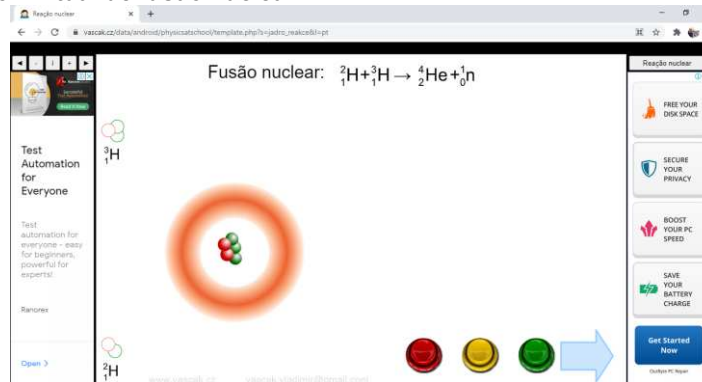
- O professor iniciou a aula elencando os tópicos da discussão das aulas anteriores, direcionando para o comportamento das partículas sob pressão, a estrutura atômica e o que diferencia um elemento químico de outro;
- O professor construiu dialogicamente o conceito de fusão nuclear;
- Como ferramenta didática, foi utilizado o simulador virtual Fusão Nuclear (disponível em: https://www.vacak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=jadro_reakce&l=pt, acesso em 22 de fevereiro de 2021). O objetivo do simulador foi indicar a colisão de dois núcleos atômicos que forma um único núcleo, de maior número atômico, e que libera partículas na forma de radiação. As interfaces do simulador podem ser observadas nas figuras 13, 14 e 15

Figura 13 - Interface do simulador virtual de fusão nuclear.



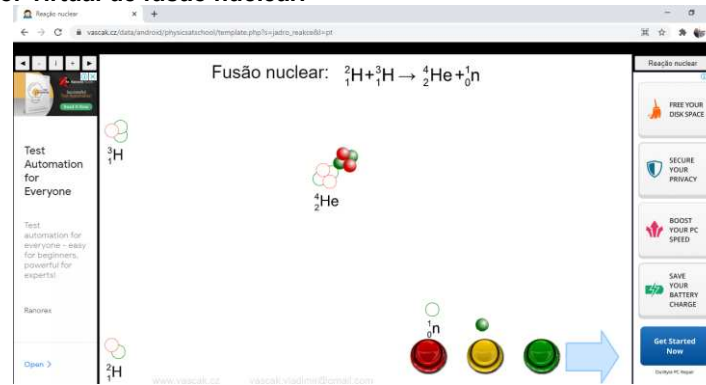
Fonte: Disponível em https://www.vasck.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=jadro_reakce&l=pt (Acesso em 22 de fevereiro de 2021).

Figura 14 - Interface do simulador virtual de fusão nuclear.



Fonte: Disponível em https://www.vasck.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=jadro_reakce&l=pt (Acesso em 22 de fevereiro de 2021).

Figura 15 - Interface do simulador virtual de fusão nuclear.



Fonte: Disponível em https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=jadro_reakce&l=pt (Acesso em 22 de fevereiro de 2021).

- Os estudantes foram levados à observação os diferentes estágios no fenômeno de fusão nuclear, diferenciando o estado inicial e o estado final da simulação;
- Os diálogos foram registrados pelo professor.

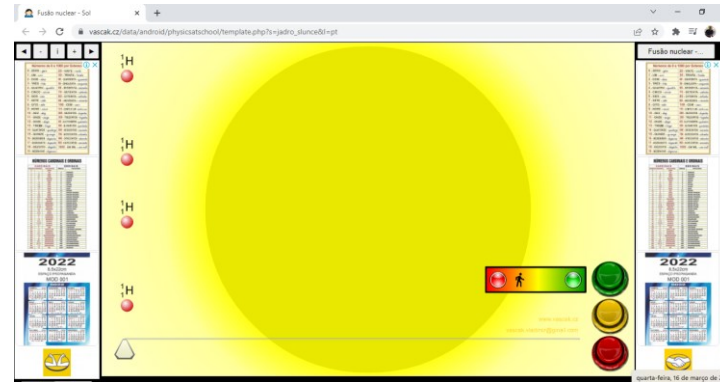
06

Relacionar a fusão nuclear com o ciclo de vida de uma estrela e a natureza do campo gravitacional.

- O professor iniciou a aula elencando os conceitos discutidos nas aulas anteriores e direcionando a discussão para a produção de elementos químicos mais pesados. Neste momento foram discutidos os fatores essenciais para a ocorrência da fusão nuclear, tais como a relação do movimento das partículas com a temperatura elevada.
- Para sistematizar os conceitos discutidos utilizou-se um vídeo didático explicativo sobre o ciclo de vida das estrelas (disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=0_aqC8O8mfo, acesso em 21 de março de 2021).
- Após uma breve discussão, os estudantes foram impelidos a manipular uma simulação virtual da fusão nuclear no interior de uma estrela como o Sol. O objetivo do simulador (disponível em: https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=jadro_slunce&l=pt acesso em 16 de

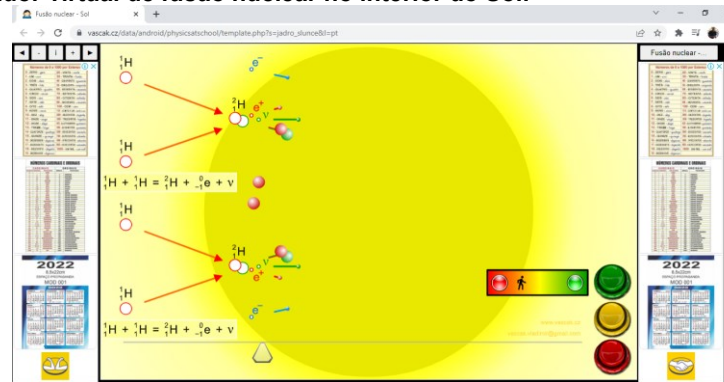
março de 2022) foi demonstrar a formação de elementos mais pesados a partir da fusão de núcleos atômicos menores, além da emissão de energia. A interface do simulador pode ser observada nas figuras 16, 17 e 18

Figura 16 - Interface do simulador virtual de fusão nuclear no interior do Sol.



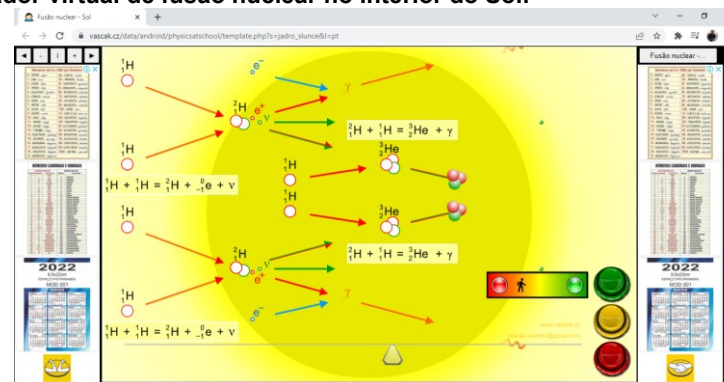
Fonte: Disponível em https://www.vascak.cz/data/android/physicschool/template.php?s=jadro_slunce&l=pt (Acesso em 16 de março de 2022).

Figura 17 - Interface do simulador virtual de fusão nuclear no interior do Sol.



Fonte: Disponível em https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=jadro_slunce&l=pt (Acesso em 16 de março de 2022).

Figura 18 - Interface do simulador virtual de fusão nuclear no interior do Sol.



Fonte: Disponível em https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=jadro_slunce&l=pt (Acesso em 16 de março de 2022).

| | | |
|--|--|---|
| | | <ul style="list-style-type: none">• O encaminhamento final da aula foi voltado para a retomada de conceitos ainda não compreendidos e as considerações dos estudantes em relação às suas concepções iniciais. |
|--|--|---|

Fonte: Autoria própria (2022).

5.4.3 Dados Posteriores

A coleta de dados após a mediação digital no processo ensino-aprendizagem do conceito de fusão nuclear ocorreu em dois momentos: 1) aplicação do questionário posterior (Apêndice 02) e 2) realização das entrevistas individuais.

No primeiro momento, os estudantes responderam ao questionário posterior. Esta etapa teve duração de uma aula de 50 minutos e ocorreu durante o horário da aula de ciências estabelecido pela instituição de ensino. Na sequência, ocorreram os encontros individuais dos estudantes com o pesquisador para a realização das entrevistas. Cada entrevista teve duração média de 10 minutos, o que resultou em 170 minutos, ou, aproximadamente, 4 aulas de 50 minutos. As entrevistas foram realizadas no espaço físico do laboratório de informática da escola. Durante a realização das entrevistas, os estudantes que não estavam sendo entrevistados, participaram de atividades de revisão de conteúdo com um professor de ciências que atua no laboratório de ciências da escola. Desta forma, nenhum estudante teve sua rotina escolar comprometida, uma vez que as atividades de revisão trataram do mesmo tema abordado nesta pesquisa.

5.5 ANÁLISE DOS DADOS

Para responder aos objetivos específicos desta pesquisa os dados coletados pelos instrumentos descritos anteriormente serão tratados e analisados a partir de duas perspectivas: 1) análise de conteúdo e 2) análise gestual descritiva. Os dados tratados e analisados a partir destas duas bases serão interpretados à luz das teorias que fundamentam esta pesquisa.

5.5.1 Análise de Conteúdo

A Análise de Conteúdo adotada neste estudo se alicerça nos estudos de Laurence Bardin (2011) que fornece uma estrutura metodológica hermenêutica controlada baseada na inferência aplicada aos discursos e que possibilita decifrar dados e modelar estruturas discursivas (BARDIN, 2011). Para essa autora, a análise do conteúdo se arquiteta em três etapas: 1) organização da análise; 2) exploração do material e 3) o tratamento dos resultados, a inferência e a interpretação (BARDIN, 2011).

A organização da análise é a etapa inicial da operação analítica. Nesta etapa é realizada a escolha dos documentos que serão analisados, a formulação de premissas e objetivos e a construção de indicadores que fundamentarão a interpretação final. A exploração do material é a etapa mais longa da análise de conteúdo, pois trata da aplicação das regras e estratégias elencadas na etapa anterior. Nesta fase são administradas as técnicas de codificação divididas em: (a) o recorte que compreende as unidades de análise; (b) a enumeração que fornece as regras de contagem e (c) a classificação e a agregação que determinam as categorias de análise. Por fim, o tratamento dos resultados, a inferência e a interpretação compreendem a síntese, a seleção e a descrição dos resultados obtidos a partir da inferência e da interpretação (BARDIN, 2011).

5.5.1.1 Construção das Categorias de Análise de Conteúdo

A análise da transcrição dos áudios capturados durante os encontros, que sob a perspectiva da Análise de Conteúdo corresponde às Unidades de Registro, ocorreu a partir de uma única categoria de análise, a saber, a identificação dos mecanismos cognitivos utilizados pelos estudantes para a explicação do conceito físico de fusão nuclear. O propósito desta etapa foi levantar evidências das mudanças nas estruturas cognitivas dos estudantes durante os diferentes processos de mediação. Cabe lembrar o leitor que a sequência didática utilizada por esta pesquisa envolveu diversos conceitos estabelecidos pela comunidade científica sobre o ciclo de vida das estrelas. Neste sentido, o objeto de análise desta pesquisa se centrou no conceito de fusão nuclear, isto é, o processo de produção de elementos químicos mais massivos no interior das estrelas. Nesta etapa, os dados foram coletados coletivamente durante as

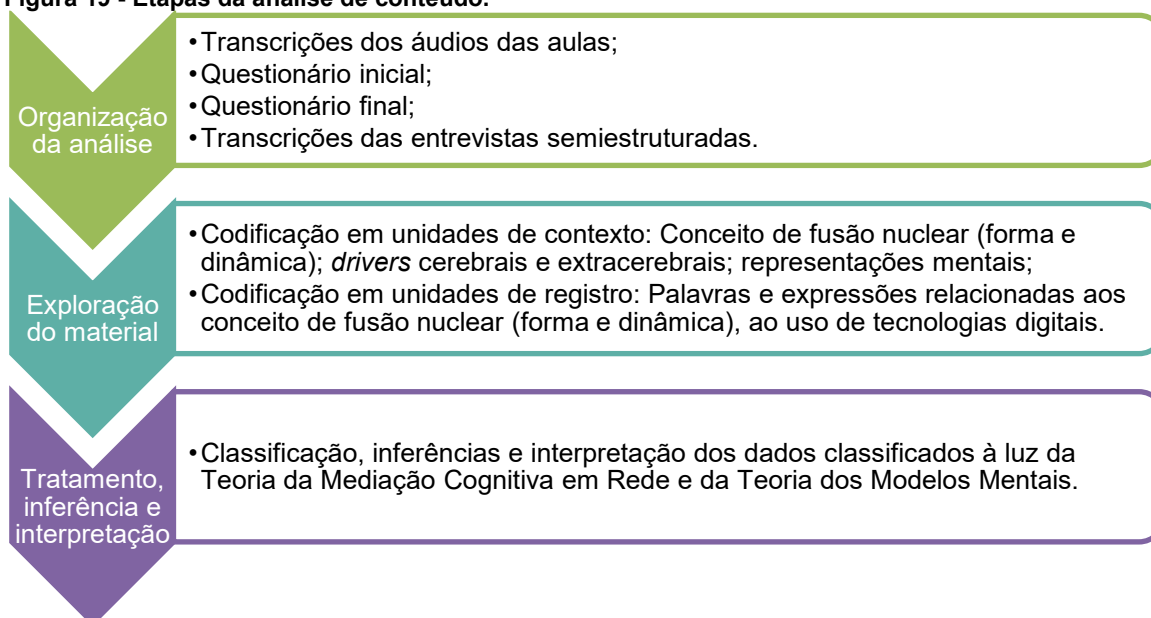
aulas o que inviabilizou a individualização das informações transcritas. Dessa forma, as falas dos estudantes foram identificadas pelo código E00.

A análise das questões sobre o conceito de fusão nuclear dos questionários inicial e posterior e das entrevistas ocorreu a partir de duas categorias de análise estabelecidas: 1) identificação dos mecanismos cognitivos utilizados pelos estudantes para a explicação dos conceitos físicos abordados; 2) identificação das classes de representações mentais de acordo com a teoria dos Modelos Mentais de Johnson-Laird (1983) a fim de evidenciar a modelização mental e, conseqüentemente, a aprendizagem conceitual sobre os fenômenos observados.

Para a organização da escrita desta etapa de análise, visto que os dados foram individualizados (questionários e entrevistas individuais), optamos por descrever os dados coletados de cada estudante em ordem numérica crescente que varia entre a estudante E01 e o estudante E18, estabelecida inicialmente por essa pesquisa.

A Figura 19 apresenta um panorama da estratégia de análise dos dados desta pesquisa.

Figura 19 - Etapas da análise de conteúdo.



Fonte: Autoria própria (2022).

5.5.2 Análise Gestual Descritiva

Como referido na seção sobre o protocolo *Report Aloud*, os gestos podem prover informações impossíveis de serem traduzidas por expressões verbais. De acordo com Stephens e Clement (2010), os gestos descritivos podem fornecer ao pesquisador uma janela para as imagens mentais dos sujeitos pesquisados. Assim, a fim de relacionar os gestos descritivos realizados pelos estudantes com suas representações mentais sobre os conceitos de fusão nuclear, esta pesquisa ancora a sua metodologia de análise gestual nas bases teóricas e metodológicas de Monaghan e Clement (1999) e Stephens e Clement (2010).

Monaghan e Clement (1999) realizaram um estudo de caso utilizando entrevistas clínicas que buscaram identificar as implicações da interação com a interface computacional nas simulações mentais *off-line*. O objetivo dos pesquisadores foi analisar de forma mais profunda os aspectos cognitivos envolvidos na aprendizagem do conceito de movimento relativo em estudantes do ensino médio após o uso de uma simulação computacional. O excerto abaixo mostra que a descrição realizada pelos entrevistados sobre os fenômenos observados nas simulações foi complementada a partir de utilização de gestos descritivos.

[...] D3 S: Por causa de - por causa da comparação (**move repetidamente a mão direita para trás e adiante**) - parecia estar indo muito rápido (**move a mão direita para a esquerda**) em direção ao uh, o avião.

D4 I: OK. Você mudou sua confiança para ter certeza de que está certo.

D5 S: Sim.

D6 I: Por que isso?

D7 S: Porque uma simulação me ajudou a ver que estava indo mais rápido do que o que parecia ser, indo mais rápido do que realmente era, porque o helicóptero está movendo-se em sua direção (**aponta com o lápis**).

D8 I: OK. Você pode falar mais sobre isso?

D9 S: Não, apenas que o helicóptero estava indo para 200, e o caminhão estava indo para 40, e, uh, apenas se você colocar o helicóptero parado (**coloca o punho esquerdo sobre a mesa**) como o avião estava - o caminhão parecerá estar indo mais rápido do que realmente estava.¹⁶ (MONAGHAN; CLEMENT, 1999, p. 929, tradução e grifos nossos)

¹⁶ D3 S: Because of – because of the comparison (repeatedly moves right hand back and forth) – it looked to be going very fast (moves right hand to the left) towards the uh, the plane.

D4 I: OK. You changed your confidence to you' re sure you are right.

D5 S: Yeah.

D6 I: Why is that?

D7 S: Because a simulation helped me out in seeing that it was going faster than what it looked to be, going faster than what it actually was, because the helicopter is moving towards it (points pencil).

D8 I: OK. Can you say more about that?

Os autores argumentam que a utilização de gestos na explicação sugere o uso de imagens mentais sobre o fenômeno estudado. Ainda, os movimentos das mãos ou a utilização de objetos como o lápis possibilita a construção de uma representação argumentativa dinâmica, o que interpretam como expressões e evidências de imagens de movimentos internos (MONAGHAN; CLEMENT, 1999).

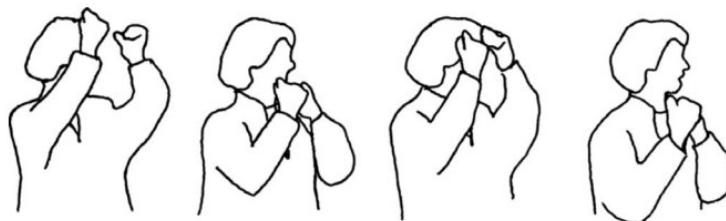
Importante destacar que os autores aqui referenciados consideram gestos descritivos de valor semântico aqueles caracterizados como um conjunto de gestos que retratam um objeto, uma força ou uma ação (MONAGHAN; CLEMENT, 1999; STEPHENS; CLEMENT, 2010).

Para Stephens e Clement (2010), não são todos os tipos de conhecimentos acessados por processos de raciocínios que podem ser articulados verbalmente. Para os autores, os gestos representativos articulados com as expressões verbais transmitem um conteúdo semântico que pode abrir caminhos para a visibilidade de imagens mentais dos indivíduos. Portanto, para esses autores os gestos analisados em uma entrevista auxiliam o pesquisador a acessar as imagens mentais dos indivíduos pesquisados. Sobre a utilização de gestos como janela para as imagens mentais, apoiados na literatura acadêmica, os autores resumem seus argumentos nos seguintes pontos (STEPHENS; CLEMENT, 2010, p. 3: 1) O tipo e a quantidade de gestos parecem estar intimamente associados à natureza da representação interna do sujeito; 2) A produção gestual representativa, em particular, parece estar associada a imagens visuoespaciais; 3) Evidências sugerem que o gesto representacional não é meramente uma tradução dos significados verbais dos sujeitos, mas pode revelar o pensamento não dito; e 4) O gesto descritivo parece ser uma forma natural de expressar os resultados da animação mental e transmite informações sobre a animação não revelada nas palavras dos sujeitos.

Como metodologia de análise dos seus estudos, os pesquisadores compilaram vídeos de gestos representativos que descreviam um objeto, uma ação ou um local imaginário. A figura 20 é um exemplo para gesto indicativo de força, construído pelos autores.

D9 S: No, just that the helicopter was going 200, and the truck was going 40, and, uh, just if you put the helicopter stationary (puts left fist down on the table) like the plane was – the truck will look to be going faster than it actually was.

Figura 20 - Gestos descritivos da ação da força gravitacional.



Fonte: STEPHENS; CLEMENT, 2010, p. 6

Na imagem, uma sequência de gestos com as mãos representa a atração gravitacional sentida pelo sujeito. Segundo os autores, esses gestos são tomados como evidência da presença de imagens mentais que contêm elementos cinestésicos, isto é, são dinâmicas em sua estrutura interna (STEPHENS; CLEMENT, 2010).

A figura 21 mostra um estudante gesticulando o comportamento hipotético de um livro, a princípio em repouso sobre uma mesa, caso a gravidade deixasse de existir. O movimento das mãos evidencia uma imagem mental dinâmica utilizada pelo estudante para descrever o movimento vertical do livro.

Figura 21 – Representação gestual da ausência da força da gravidade sobre o livro.



Fonte: STEPHENS; CLEMENT, p. 8

Já a imagem 22 mostra os gestos utilizados por um estudante para descrever uma bola flutuando no espaço durante a explicação sobre a força gravitacional e o movimento de rotação da Terra.

Figura 22 - Representação gestual descrevendo um corpo esférico.



Fonte: STEPHENS; CLEMENT, p. 8

Como já mencionado, a interpretação dos gestos pode fornecer dados que não podem ser identificados apenas pela expressão verbal. Neste ponto, concordamos com Trevisan *et.al.* (2019) ao considerar os gestos como linguagem própria e não como complemento da expressão verbal e a combinação dessas duas linguagens como ferramenta importante na identificação de conceitos presentes nas representações mentais dos estudantes.

Assim, tendo em conta, os desenvolvimentos metodológicos empregados por Stephens e Clement (2010), utilizamos a análise dos gestos descritivos combinados com as expressões verbais dos estudantes participantes desta pesquisa como instrumento para observação e categorização das representações mentais utilizadas nas explicações fenomenológicas do conceito de fusão nuclear após a mediação digital por simuladores virtuais.

5.6 APLICAÇÃO DA PESQUISA

Nesta seção são apresentados o ambiente onde a pesquisa foi aplicada e as características dos sujeitos pesquisados. Importante destacar que a pesquisa foi apreciada e aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Tecnológica Federal do Paraná com o CAAE 47958921.5.0000.5547 e parecer de aprovação nº 4.996.890, e também pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Secretaria Municipal de

Saúde de Curitiba com o CAAE 47958921.5.3001.0101 e parecer de aprovação nº 5.158.968.

5.6.1 Ambiente da Pesquisa

A amostra da população escolhida para a pesquisa tem relação direta com o pesquisador, uma vez que o mesmo atua profissionalmente neste ambiente. Trata-se de uma turma do nono ano do ensino fundamental de uma escola pública municipal no bairro Cidade Industrial, na região sul de Curitiba-PR. A escola, fundada pelo Decreto nº 8217 de 29 de dezembro de 1967 do governo Estadual, em caráter provisório de dois anos e pela Lei Municipal nº 3189 de 12 de março de 1968, atende aproximadamente 1300 estudantes do Ensino Fundamental I, Ensino Fundamental II e Educação de Jovens e Adultos nos turnos da manhã, tarde e noite (CURITIBA, 2021). A maior parte dos estudantes são moradores da comunidade do entorno da unidade. O recorte temporal da pesquisa está compreendido entre o mês de março de 2019 e março de 2023.

5.6.2 Sujeitos Pesquisados

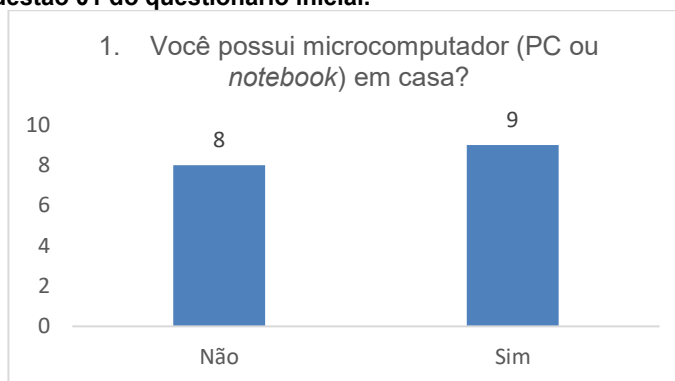
Caracterizar os participantes da pesquisa é fundamental para contextualizar os dados coletados com os resultados obtidos. O rigor de uma pesquisa científica que envolve seres humanos, entretanto, orienta o sigilo quanto às informações que possam revelar a identidade dos indivíduos participantes. Desta forma, os 17 estudantes que participaram da pesquisa estão identificados ao longo de todo texto com os seguintes códigos: E01, E02, E03...E17. Já o professor, que é o pesquisador, está identificado pelo código P.

Como esta pesquisa investiga a relação entre humanos e não humanos, torna-se imperativo identificar as conexões prévias entre os estudantes e os artefatos

digitais. Assim, os dados sobre tais conexões foram extraídos do questionário inicial da pesquisa e tabulados a seguir.

As respostas dadas à primeira questão: “*Você possui microcomputador (PC ou notebook) em casa?*” mostram que, apesar de ser considerado popularizado no Brasil desde o início do século XXI, a população amostral é bem dividida em relação à posse desse artefato. Conforme o gráfico 1, dos 17 estudantes que participaram da pesquisa, 8 deles não possuem esse artefato em suas residências.

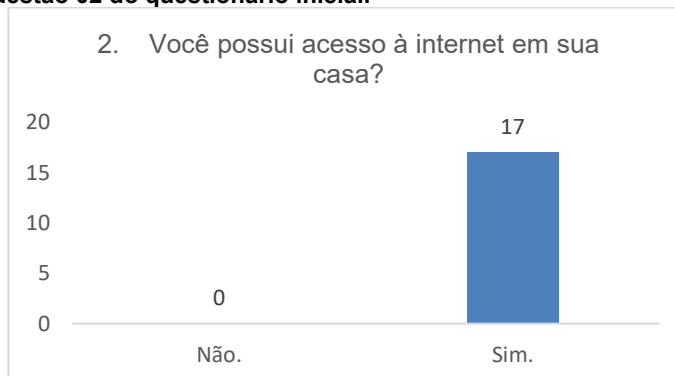
Gráfico 1 - Respostas da questão 01 do questionário inicial.



Fonte: Autoria própria (2022).

A questão seguinte “*Você possui acesso à Internet em sua casa?*”, evidencia que, apesar de não dispor de microcomputador, todos os estudantes responderam que dispõem de acesso à Internet, conforme mostra o gráfico 2.

Gráfico 2 - Respostas da questão 02 do questionário inicial.



Fonte: Autoria própria (2022).

A terceira questão preenche a lacuna sobre o acesso à Internet e a posse de microcomputador em casa. Os dados coletados da questão: “*Você possui telefone celular do tipo smartphone?*”, mostram que aqueles que não possuem microcomputadores em casa acessam a Internet por meio do dispositivo digital móvel, conforme mostra o gráfico 3.

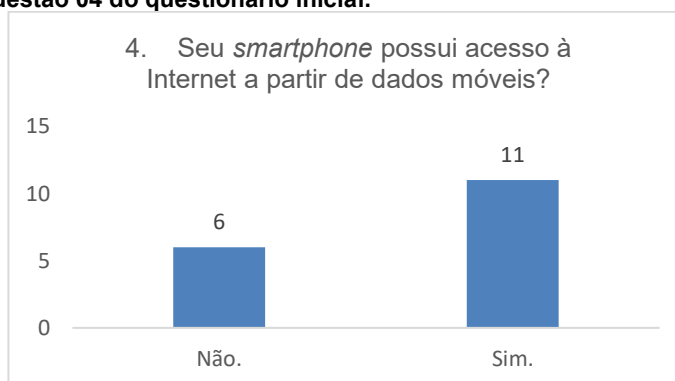
Gráfico 3 - Respostas da questão 03 do questionário inicial.



Fonte: Autoria própria (2022).

Com relação ao tipo de conexão à Internet utilizado pelos estudantes, a questão 4: “*Seu smartphone possui acesso à Internet a partir de dados móveis?*”, observa-se que a maioria dos estudantes pesquisados possuem algum tipo de plano de acesso particular à Internet e que seis estudantes só possuem acesso à Internet em seus dispositivos a partir do compartilhamento de outras redes (gráfico 4).

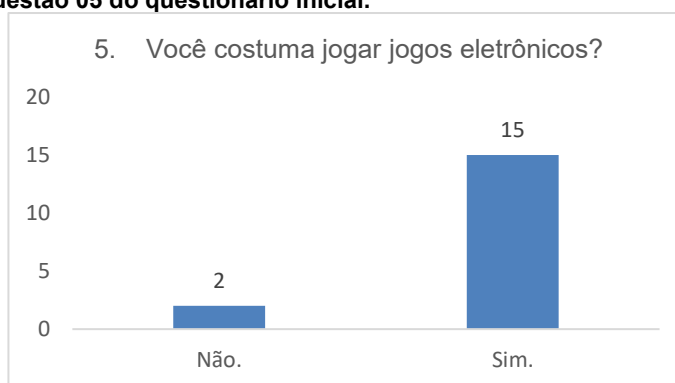
Gráfico 4 - Respostas da questão 04 do questionário inicial.



Fonte: Autoria própria (2022).

A questão 5: “*Você costuma jogar jogos eletrônicos?*” mostra que apenas dois estudantes não têm o hábito de interagir com simulações virtuais a partir de jogos digitais. Dessa forma, a maior parte da população amostral já possui algum tipo de mecanismo de interação baseada na relação real-digital, conforme mostra o gráfico 5.

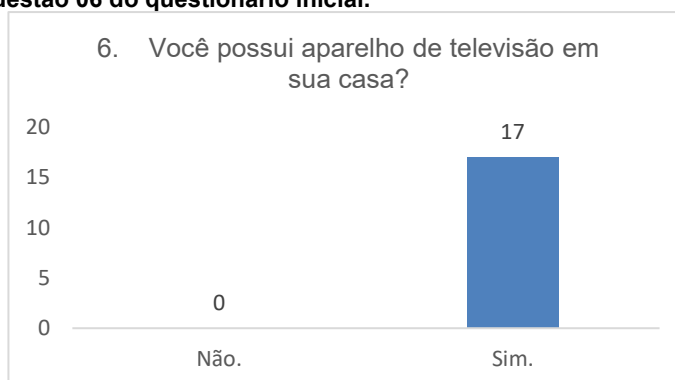
Gráfico 5 - Respostas da questão 05 do questionário inicial.



Fonte: Autoria própria (2022).

Os dados da questão 6: “*Você possui aparelho de televisão em sua casa?*” mostram que todos os estudantes dispõem desse artefato (gráfico 6).

Gráfico 6 - Respostas da questão 06 do questionário inicial.

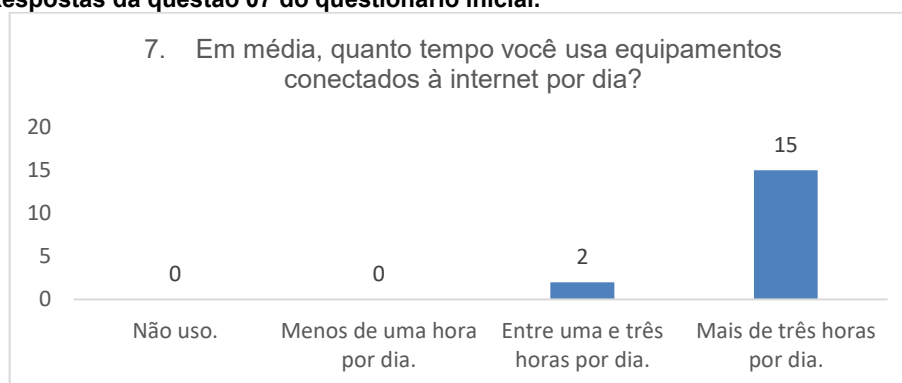


Fonte: Autoria própria (2022).

Com relação ao tempo dispensado para a interação com dispositivos conectados à Internet, a sétima questão: “*Em média, quanto tempo você usa*

equipamentos conectados à Internet por dia?”, mostra que essa atividade ocupa grande parte do tempo dos estudantes envolvidos nessa pesquisa, conforme mostra o gráfico 7.

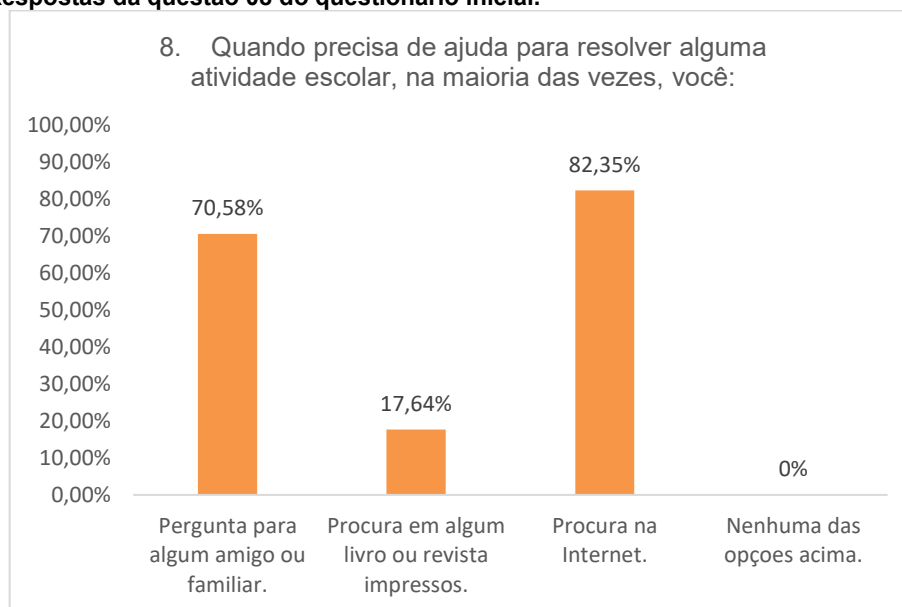
Gráfico 7 - Respostas da questão 07 do questionário inicial.



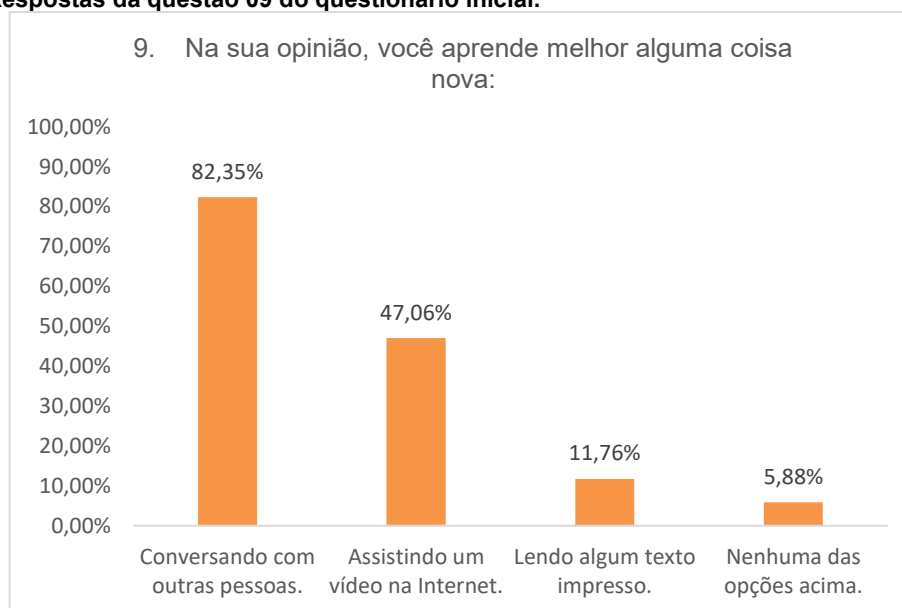
Fonte: Autoria própria (2022).

As questões 8, 9 e 10 do questionário inicial buscaram identificar como os estudantes compreendem suas relações cognitivas a partir de diferentes formas de interações. Isso se relaciona com as premissas da teoria da mediação Cognitiva em Rede (TMC) ao estabelecer vínculos com estruturas externas de mediação cognitiva.

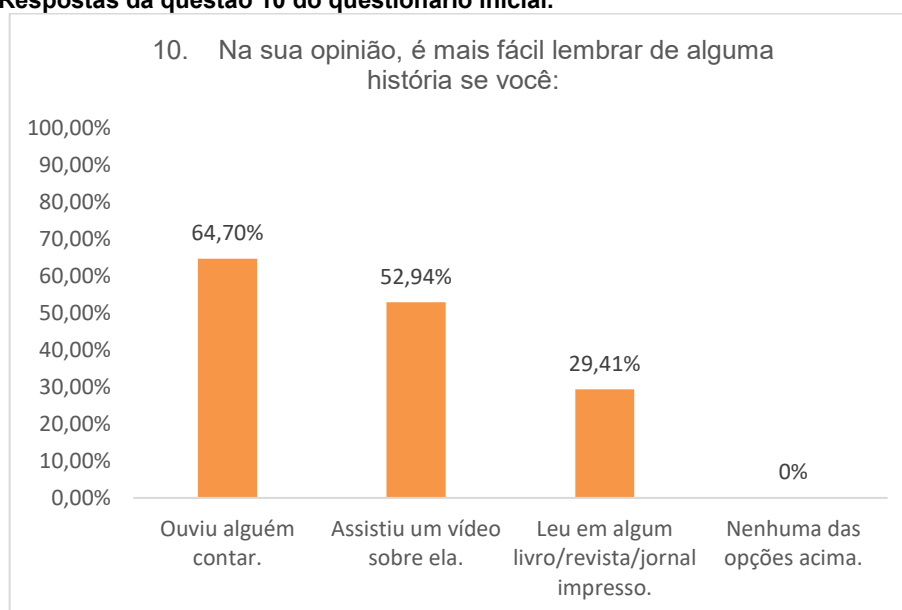
Os participantes puderam escolher mais de uma resposta para cada uma destas questões, desta forma a somatória dos valores totais ultrapassa 100%. Assim, os dados expostos nos gráficos 8, 9 e 10, deixam evidente que os estudantes admitem a interação social e a interação digital como as principais fontes de informações e processamento de informações utilizadas nas suas estruturas cognitivas. Esses dados corroboram a tese de que a interação social em sala de aula que utiliza mediação por tecnologias digitais é uma condição epistêmica fundamental no processo ensino e aprendizagem.

Gráfico 8 - Respostas da questão 08 do questionário inicial.

Fonte: Autoria própria (2022).

Gráfico 9 - Respostas da questão 09 do questionário inicial.

Fonte: Autoria própria (2022).

Gráfico 10 - Respostas da questão 10 do questionário inicial.

Fonte: Autoria própria (2022).

6 APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo apresentamos os dados coletados, sua análise e a discussão dos resultados da pesquisa. Inicialmente, analisamos e discutimos os mecanismos de processamento cognitivos utilizados pelos estudantes e as classificações das representações mentais identificadas.

6.1 PROCESSAMENTO EXTRACEREBRAL E CLASSES DE REPRESENTAÇÕES MENTAIS

Nesta etapa da análise, partimos de dois pressupostos teóricos descritos na fundamentação teórica dessa pesquisa para construir as duas categorias de análise de conteúdo dos dados coletados: 1) o fundamento da Teoria da Mediação Cognitiva (TMC) de que a cognição humana é resultado do processamento de informações e que esse processamento ocorre, também, externamente ao cérebro. Analisaremos os dados coletados para investigar a utilização dos mecanismos cognitivos utilizados pelos estudantes a partir da mediação por simuladores virtuais dos conceitos de comportamento atômico sob calor e de fusão nuclear; e 2) da teoria dos Modelos Mentais que argumenta que uma representação mental é uma construção cognitiva que permite a explicação e a realização de previsões sobre um sistema físico representado analogicamente. Em outras palavras, o objetivo desta etapa é avaliar os mecanismos cognitivos utilizados pelos estudantes durante as explicações dos fenômenos observados e as classes de representações mentais que emergiram da interação com a interface virtual.

6.1.1 Resultados e análise dos áudios capturados durante as aulas

Conforme discutido no capítulo 2, seção 2.2, de acordo com a TMC a cognição é um processo evolucionário que se desenvolve a partir de ações interativas. Desse modo, a partir dos diálogos capturados em áudio foi possível verificar as mudanças

nos mecanismos cognitivos (*drivers*) utilizados pelos estudantes na construção dos argumentos relacionados aos fenômenos estudados.

O excerto a seguir, sobre a natureza da massa atômica, mostra que os conhecimentos prévios dos estudantes se baseavam na combinação dos processos de mediação social e mediação cultural, isto é, a partir das interações em grupo com a manipulação de artefatos e na utilização de sistemas simbólicos existentes no contexto de ensino-aprendizagem de ciências da natureza.

P: Mas, por que a matéria tem massa?

E00: Por causa do átomo.

P: Mas por que os átomos têm massa? Vocês já aprenderam sobre os átomos? Pensa em pouquinho, do que os átomos são feitos?

E00: Nêutrons, elétrons e prótons...

E00: Positivo e negativo...

P: Isso. Prótons e nêutrons no núcleo. E os elétrons?

E00: Sim.

E00: Girando a redor.

P: Girando?

E00: É. Igual os planetas em torno do Sol.

Os trechos destacados indicam que os estudantes já tiveram acesso aos conceitos básicos das partículas constituintes do átomo. Isso porque o conceito de estrutura da matéria é um conteúdo curricular subsequente aos conteúdos elementares de estrutura da matéria. Dessa forma, podemos concluir que os estudantes apresentavam, no início da pesquisa, representações mentais sobre estrutura da matéria arquitetadas sob a égide dos *drivers* social e cultural, uma vez que a mediação cognitiva ocorreu a partir de interações em grupo (dinâmica cotidiana de sala de aula) e de sistemas simbólicos e práticas estabelecidas pela comunidade científica (livros didáticos e paradidáticos). Ao fazer a analogia do movimento dos elétrons com as órbitas dos planetas, os estudantes recorrem às analogias utilizadas nos livros didáticos, artefato cultural, ao atribuir ao modelo atômico de Ernest Rutherford o caráter planetário das órbitas.

No diálogo abaixo é possível evidenciar que, antes das aulas, os estudantes não apresentavam nenhuma representação mental para a formação de átomos maiores, isto é, não havia um modelo mental para explicar a origem dos elementos químicos, conseqüentemente, nenhum modelo mental sobre o conceito de fusão nuclear.

P: Por que alguns átomos têm mais partículas no núcleo e outros não? Como essas partículas se juntaram no núcleo? O que fez elas se juntarem?

E00: Por causa de Deus.

P: Tá, beleza. Vou mudar a pergunta agora. Se Deus foi quem fez isso acontecer, como é que ele fez? Qual foi o processo usado por ele para que as partículas se juntassem?

E00: Só ele sabe.

E00: A gravidade?

E00: Por causa do *Big Bang*. Explodiu e juntou tudo.

Apesar de não representar mentalmente o fenômeno físico de fusão nuclear, observa-se que, na tentativa de construir um argumento válido, os estudantes apoiam-se cognitivamente no *driver* cultural uma vez que estabelecem relações com sistemas simbólicos (divindade metafísica e expressões representativas) construídos a partir da existência duradoura de agrupamentos humanos. A partir de provocações levantadas pelo professor, algumas tentativas de explicação começaram a se desenvolver, mas, como apresentado no diálogo a seguir, todas as argumentações estavam estruturadas em análises intuitivas, isto é, fundadas nas concepções do senso comum.

P: Um determinado tipo de elemento químico, hidrogênio, hélio, ferro, carbono, pode se transformar em outro?

E00: Acho que sim.

E00: Pode.

P: Pode? De que jeito?

E00: Por mistura.

P: Mistura?

E00: É. Tipo, se eu pegar dois ingredientes e misturar, eles vão formar só um, igual bolo.

E00: Tipo massinha, se misturar as cores forma uma cor só.

P: Se eu pegar um cilindro com gás hidrogênio, e misturar com outro gás hidrogênio de outro cilindro, os gases vão se transformar em outro? Em hélio?

E00: Ah, talvez?

P: Mas se tinha gás hidrogênio dentro do cilindro, por que ele não se transformou em hélio lá dentro?

E00: Eita.

E00: Bugou agora.

Observa-se, portanto, que os estudantes tentaram descrever o fenômeno de fusão entre os átomos utilizando-se de situações de interações já ocorridas em seus cotidianos, como as falas: “Tipo, se eu pegar dois ingredientes e misturar, eles vão formar um só, igual bolo” e “Tipo massinha, se misturar as cores forma uma cor só”. Esse conjunto de informações demonstra que os estudantes utilizam o *driver* psicofísico para sustentar seus modelos mentais. Entretanto, ao serem confrontados com a inviabilidade dos argumentos apresentados, especialmente em relação à repulsão elétrica das partículas de cargas iguais, os estudantes não conseguiram conceber um modelo mental coerente com o conhecimento científico. Esse dado pode ser observado no excerto abaixo:

P: Vocês também aprenderam que quando temos duas cargas iguais, o que acontece quando eu tento aproximar uma da outra? Tipo próton e próton?

E00: Se afastam.

P: Ah, elas se afastam, né? Parece o efeito do ímã, mas nesse caso a repulsão é elétrica e não magnética. Então se eu tenho carga positiva e carga positiva, se afastam, negativa e negativa se afastam. Mas eu quero que vocês observem aqui, no núcleo tem cargas iguais juntas. Por que elas estão juntas, se cargas iguais se afastam?

E00: Porque no núcleo do átomo não tem espaço pra isso acontecer.

P: Mas eles estão juntos. Por que elas não quebram o núcleo?

E00: Porque eles quebrariam nossa existência.

P: Mas, então, por que isso não acontece?

E00: Por que os nêutrons segura eles.

P: Mas os nêutrons não tem carga negativa pra atrair os prótons.

E00: Tem alguma coisa a ver com o formato do núcleo?

E00: Talvez eles não estão juntos, mas um pouquinho separados. E como é pequeno não dá pra ver.

P: Eles estão juntos.

E00: Então não sei.

A fim de relacionar eventos intuitivos com os conceitos contraintuitivos da Física Quântica, o professor partiu de uma analogia macroscópica sobre a quantidade de energia envolvida na colisão dos corpos. Concordamos com alguns estudos disponíveis na literatura acadêmica sobre os óbices causados por analogias nas abordagens de conceitos quânticos durante o processo ensino-aprendizagem. Entretanto, acreditamos que, quando não há nenhuma evidência de representações mentais construídas sobre esse tema, as analogias podem servir como base cognitiva, tanto para a construção de representações mentais que são construídas a partir delas, quanto para a construção de representações mentais que as usem como estrutura para contra intuição. Nesse sentido, a analogia utilizada pelo professor fazia referência à colisão entre veículos automotivos em diferentes estados de movimento, ou seja, a colisão entre carros com velocidades baixas e a colisão entre carros com velocidades altas. A intenção era representar mentalmente a influência da quantidade de energia contida nos corpos no resultado dos eventos imaginados. Percebe-se, no diálogo a seguir, que a relação entre a quantidade de energia e a força de colisão começa a aparecer nas representações mentais dos estudantes.

P: Imaginem dois carros em uma estrada. Um viaja em direção ao outro. Os dois estão a uma velocidade de 10 km/h.

E00: Quase parando.

P: Isso, quase nada. Imagina que esses dois carros batam de frente um com o outro, nessa velocidade. O que vai acontecer?

E00: Nada.

E00: Vai fazer um arranhão.

E00: Nem vai sentir.

P: Ok. Agora imagina essa mesma situação, só que a velocidade dos dois carros agora é de 100 km/h. Os efeitos são os mesmos?

E00: Claro que não.

E00: Vai moer o carro.

E00: Morre todo mundo.

P: Mas, por que?

E00: Porque a velocidade é mais alta. Vem com mais força.

E00: Tem mais energia?

Com relação ao diálogo acima, é possível afirmar que, a partir da interação social – professor/estudantes – há uma modelização mental que evidencia a utilização do *driver* social como mecanismo interno de cognição. À vista disso, a analogia com o evento macroscópico utilizado foi transportada para o fenômeno atômico como premissa para o entendimento do comportamento das partículas em ação. O diálogo abaixo revela a transladação da dinâmica macroscópica para a dinâmica atômica:

P: Sim. Isso mesmo. A energia contida nos dois carros é maior. Agora imagina isso com os prótons. Se eles estiverem bem devagar, um em direção ao outro. O que vai acontecer?

E00: Eles vão se encostar.

E00: Vão arranhar.

E00: Não. Eles vão desviar.

P: Desviar? Por que?

E00: Ué, você não disse que eles desviam por causa do positivo com positivo?

P: Cargas elétricas iguais se repelem.

E00: Então, eles desviam. Não batem um no outro.

E00: Ah, então pra eles se bater tem que estar numa velocidade alta. Mais energia, igual o carro.

P: Isso! Eles precisam estar bastante energéticos. E isso envolve a velocidade deles. Mas, como isso acontece? Como eles ficam velozes? Que energia é essa?

E00: Boa pergunta.

E00: Redbull [referência cultural].

E00: Não sei.

Mais uma vez, o diálogo capturado em áudio torna evidente a utilização de mecanismos cognitivos de origem social e cultural, uma vez que estabelecem relações diretas com a interação dialógica professor/estudantes e com elementos culturais presentes nos livros didáticos e de consumo midiático do “Redbull” em alusão a uma bebida energética amplamente comercializada no Brasil.

Na sequência, os estudantes interagiram com o primeiro simulador virtual que apresenta o comportamento das partículas sob calor. O interesse nesse simulador está na capacidade de análise da influência da quantidade de calor na ocorrência de colisões mais violentas entre as partículas em um sistema fechado. Após a apresentação do simulador aos estudantes pelo professor, as simulações ocorreram

no sentido de avaliar o aumento da temperatura do sistema e a quantidade de movimento das partículas. A transcrição abaixo mostra a construção de argumentos a partir da interação com o simulador virtual

P: o que tá acontecendo aí?
 E00: Tá ficando mais quente.
 P: O que o calor está fazendo com as partículas.
 E00: Faz elas ficar mais agitadas.
 P: Tá, beleza. E quanto mais calor, o que acontece?
 E00: Mais agitadas elas ficam.
 P: E o que é calor, então?
 E00: Elas se mexem bastante por causa do calor, então é o que faz elas se agitarem.
 P: Observe bem o comportamento delas. O que acontece se você parar de fornecer calor. Ela para instantaneamente?
 E00: Não.
 P: Por que?
 E00: Porque ela recebeu calor. Tá nela agora.
 E00: Porque ela não esfria rápido. Demora um pouco.

Observa-se que pelo diálogo registrado a interação com o artefato digital serviu como estrutura para a construção de uma representação mental sobre a transferência de energia e sua implicação no comportamento das partículas. Frente a isso, podemos identificar que as representações mentais construídas seguem a lógica gráfica do *layout* do simulador virtual. Em vista disso, podemos afirmar que o *driver* hipercultural foi utilizado como origem dos modelos mentais emergidos.

Após a interação com o simulador, o diálogo entre o professor e os estudantes evidencia a utilização do *driver* hipercultural como estrutura base para a construção da argumentação. No trecho abaixo verifica-se a relação estabelecida entre o aumento do calor e a quantidade de movimento das partículas. Ainda, pode-se observar o raciocínio que vincula a maior agitação à maior chance de colisão entre as partículas.

P: Como fica o comportamento delas?
 E00: Elas ficam agitadas.
 E00: Mexendo muito.
 P: Pra você deixar ela muito agitada...
 E00: Tem que colocar mais calor.
 E00: Aumentar a temperatura.
 E00: Muito calor.
 P: Qual outro efeito do aumento da agitação delas?
 E00: Elas batem mais umas nas outras.
 E00: É. E pode explodir a tampa.
 E00: Aumenta a pressão também.

De acordo com o estabelecido pela sequência didática, buscou-se estabelecer as relações entre as características físicas das estrelas com as condições necessárias para a ocorrência da fusão nuclear. Para tanto, além dos dados observados na interação com o simulador virtual sobre propriedade dos gases, o professor utilizou-se do modelo didático que simula a curvatura do tecido espaço-tempo. A transcrição a seguir, deixa evidente a origem das representações mentais construídas sobre as premissas para a fusão atômica.

P: Onde será que dois prótons conseguem ter uma velocidade tão alta que eles conseguem romper a distância limite para se juntarem? Onde será que isso pode acontecer naturalmente?

E00: No Sol.

P: No Sol? O que que o Sol tem que permite que isso aconteça?

E00: Calor.

E00: Massa.

P: Ok. Esse é um modelo sobre o espaço-tempo. Considerem o tecido como o próprio espaço-tempo. Nesse caso, a deformação deste tecido é a simulação do campo gravitacional [colocando uma bola de resina no centro do tecido]. Agora, considerem estas bolinhas de gude como partículas no espaço. Se eu tenho um campo gravitacional mais intenso eu faço com que os corpos, nesse caso as partículas, sejam atraídas com maior velocidade ou menor velocidade? [soltando bolinhas de gude em direção à bola de resina, de massa maior, no centro do tecido].

E00: Mais rápido.

E00: Está mais fundo no meio, então ela vai grudar na bola do centro.

P: Observe a velocidade que essas bolinhas vão em direção ao centro. [soltando mais uma bolinha]. Agora, se eu aumento a massa do centro [coloca-se mais bolinhas junto com a bola de resina no centro, aumentando a massa], se eu soltar uma bolinha daqui da borda, ela vai em direção ao centro com a mesma velocidade que antes?

E00: Não.

P: Vai que jeito?

E00: Mais rápido.

E00: Afundou mais. Ela vai mais ligeiro e bate nas outras.

P: Mais rápido?

E00: Sim.

P: Se eu aumento a massa, aumento a curvatura do tecido. Isso faz com que os corpos sejam puxados com mais força ou menos força?

E00: Mais força.

E00: Fica mais caído pro meio.

P: Mais força. Se eu aumentar ainda mais essa massa, vai puxar com mais força ou menos força?

E00: Mais.

E00: Mais força, né?

P: Agora imagina as partículas em um campo gravitacional bem intenso, elas vão se movimentar ali, mais devagar ou mais rápido?

E00: Mais rápido.

E00: Muito mais.

E00: Ah, essa rapidez faz elas se baterem com mais força. É isso?

P: Sim. Imaginem que essas bolinhas sejam as partículas atômicas. O que acontece se elas se concentrarem em um ponto do tecido?

E00: Vai afundar.

E00: Pesar mais.

P: E o que vai acontecer com os outros elementos que estão ao redor?

E00: Vai começar a cair.

E00: Junta tudo.

P: E vai acontecer o que mais com eles?

E00: Vão se juntar e ficar maior.

E00: Vai ficar mais pressionado.

E00: É, igual lá no programa, vai aumentar a pressão.

P: E qual a consequência disso?

E00: Sobe a temperatura?

E00: Fica mais quente.

P: Olha só! Quanto mais calor, mais movimento as partículas. Se eu tenho um lugar onde as partículas se movem muito rápido, eu tenho um lugar com mais calor, ou menos calor?

E00: Mais calor.

P: Mais calor. Uma estrela tem...

E00: Muito calor.

P: Muito calor. Uma estrela é maior ou menor que um planeta?

E00: Muito maior.

E00: Grande.

E00: Milhares de Terra.

P: Se ela é maior, ela tem mais massa ou menos massa?

E00: Mais massa.

E00: Mais gravidade?

P: Se ela tem mais massa, o espaço se curva mais ou menos ao redor dela?

E00: Mais. Ah, então ela tem mais gravidade porque tem mais massa e a massa ela faz aumentar juntando os átomos.

P: Se ela tem mais massa, tem mais gravidade?

E00: É, né?

E00: Sim.

P: Então as partículas estão mais velozes lá na estrela?

E00: Sim, por causa da gravidade.

A análise do excerto acima traz à luz a combinação dos diferentes mecanismos cognitivos utilizados pelos estudantes na construção de suas representações mentais, visto o movimento entre os diferentes mecanismos de mediação – psicofísico (modelo didático), social (professor/estudantes), cultural (conceitos científicos) e hipercultural (simulador virtual). Nos trechos destacados, tem-se as evidências desse argumento. Alguns exemplos são: “*No Sol*”, “*Calor*” e “*por causa da gravidade*” são termos utilizados da estrutura cultural da ciência, *driver* cultural; “*Está mais fundo no meio, então ela vai grudar na bola do centro*” e “*Vai ficar mais pressionado*” estão relacionados ao aspecto perceptivo, ou seja, *driver* psicofísico; “*É, igual lá no programa, vai aumentar a pressão*” onde o termo “programa” se refere ao simulador virtual, expondo o *driver* hipercultural. O *driver* social é utilizado como amálgama para os diferentes processadores internos e externos que participam da relação dialógica entre professor/estudantes. Cabe, portanto, destacar a relevância de *drivers* cognitivos de caráter compósito (psicossocial, sociocultural, psicocultural) durante a estruturação de modelos mentais mais sofisticados. Conforme Trevisan

(2020), a própria configuração da aula pode ser entendida como uma mediação composta, denominada pelo autor como sociocultural.

Durante a interação dos estudantes com o simulador virtual de fusão nuclear, os diálogos capturados em áudio evidenciam a utilização do *driver* hipercultural como base para a construção de novas representações mentais. Antes, porém, quando inquiridos pelo professor sobre quais efeitos seriam vistos na colisão entre as partículas da interface do simulador, os estudantes apoiavam-se em mecanismos cognitivos de natureza psicofísica, isto é, relacionavam os efeitos à eventos captados pela percepção no cotidiano. Isso pode ser visto no diálogo abaixo, registrado antes da manipulação com o simulador virtual.

P: Observem a tela do simulador. O que vocês acham que vai acontecer quando esses dois átomos colidirem um com o outro?

E00: Eles vão explodir.

E00: Vão explodir e se separar.

P: Separar?

E00: Sim. Se a gente jogar duas bolinhas daquelas [bolinhas de gude do modelo didático] bem forte uma na direção da outra, elas fazem tipo uma explosão, um barulho, e vai uma pra cada lado.

E00: Igual bola de sinuca.

Observa-se, portanto, que os modelos mentais sobre a previsão do que aconteceria no simulador estavam fundamentados em *drivers* psicofísicos. Entretanto, após a manipulação do simulador virtual, os argumentos capturados nos áudios indicam uma mudança na estrutura cognitiva dos estudantes, passando a utilizar o mecanismo cognitivo de natureza hipercultural. A transcrição a seguir comprova esse argumento.

P: Então vamos simular. Podem realizar as simulações.

E00: Olha, se juntam todos e depois explode.

E00: Tá saindo só uma bolinha quando batem.

P: Ah, está liberando uma partícula?

E00: É, olha.

P: Mas, quantas partículas o átomo tem agora? [depois da fusão]

E00: Quatro.

E00: Verdade. Tinha menos.

E00: Ficaram grudadas.

E00: Isso, são dois vermelhos [prótons] e mais dois [nêutrons].

P: Mas, e a outra partícula? Não eram cinco, dois prótons e três nêutrons? Para onde foi a outra partícula?

E00: Desintegrou na explosão?

P: Explosão?

E00: É. Quando bate, explode.

E00: Esse arco em volta é a explosão.

P: Por que uma explosão?

E00: Porque é tipo assim, bate e sai energia.

E00: Libera energia.
P: Então, na fusão nuclear libera energia?
E00: Sim.
P: E de onde vem essa energia?
E00: Deles mesmo.
E00: Da massa.
E00: Do calor.

A explicação construída pelos estudantes seguiu com coerência as representações mentais estabelecidas a partir de *driver* hipercultural, uma vez que se utiliza de dados processados pela interface digital. Configura-se, nesse caso, uma mudança na estrutura cognitiva dos estudantes a partir da mediação hipercultural.

Para a compreensão do processo de fusão nuclear no núcleo das estrelas, foi utilizado um segundo simulador virtual, descrito na sequência didática. O objetivo desse simulador era compreender a fusão de átomos de hidrogênio e a formação de átomos de hélio no núcleo solar. Durante a interação com esse simulador, os estudantes apresentaram um uso maior do *driver* hipercultural como estrutura cognitiva base para as novas representações mentais. No trecho da transcrição a seguir, observa-se esse processamento extracerebral de maneira mais evidente.

P: Olha aqui na segunda colisão. Formou um hidrogênio com massa três.
E00: Agora eles colidem e vira um hélio?
P: Não sei. Continua a simulação.
E00: Formou! Caraca.
E00: Tudo esse vermelho é energia?
P: Sim. Mais as partículas. Tá vendo as cobrinhas, as bolinhas vermelhas?
E00: O y?
P: Sim. São fótons.
E00: A luz.
E00: Fótons são bolinhas de luz? De energia?
P: Isso.
E00: Só vai até o hélio.
E00: Só. É como se fosse no Sol. Só que no Sol acontece isso bilhões de vezes por segundo.
E00: Pode dizer que nele faz muitas fusões nucleares e por isso libera tanta luz. Deve ser assim nas outras estrelas também.

As representações mentais construídas, observadas nos argumentos da transcrição acima, substanciam a tese da TMC de que a interação com o mecanismo de mediação digital altera a estrutura cognitiva do indivíduo, uma vez que este atribui ao mecanismo externo parte do processamento das informações de seu novo modelo mental. A partir da previsibilidade de eventos simulados, como nas falas: “*Eles colidem e vira um hélio*” e “*Só vai até o hélio*”, podemos confirmar a evidência da operação cognitiva de natureza hipercultural. Ainda, ao construir representações mentais de previsões que transcendem à interface digital utilizada, como nas falas: “*Só que no*

Sol acontece isso bilhões de vezes por segundo” e *“Deve ser assim nas outras estrelas também”*, podemos inferir que o *driver* hipercultural participou ativamente da aprendizagem conceitual do fenômeno analisado.

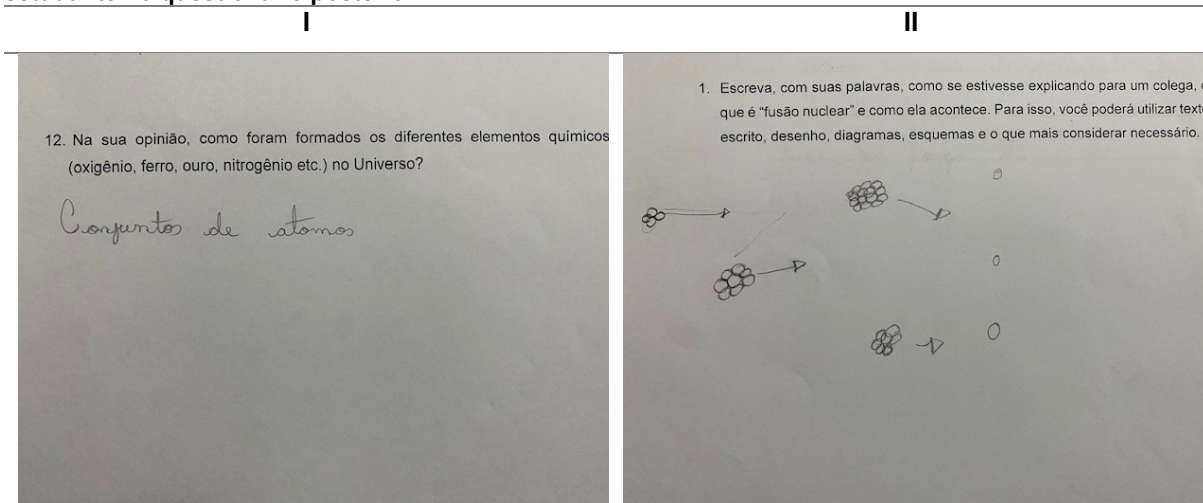
Seguindo o movimento de análise, na seção a seguir são apresentadas as análises das evidências da utilização de mecanismos de processamento extracerebrais levantadas nos questionários inicial e posterior e nas entrevistas individuais.

6.1.2 Resultados e análise dos questionários e das entrevistas individuais

Nessa seção estão descritas as respostas apresentadas nos questionários inicial e posterior sobre o conceito de fusão nuclear e transcrições dos diálogos combinadas com as capturas dos gestos descritivos dos estudantes.

As respostas apresentadas pela estudante E01 nas questões sobre a natureza dos elementos químicos mais massivos nos questionários inicial e posterior (Figura 23) demonstram a evolução argumentativa da mesma, indicando a influência dos simuladores utilizados na elaboração de uma representação mental sobre o conceito em questão. Observa-se que antes da interação com os simuladores virtuais, a estudante não apresentava uma concepção coerente com o conhecimento científico. Após a interação com o artefato digital, a estudante demonstra utilizar o mecanismo cognitivo hipercultural para construir uma explicação para o fenômeno. Esse mecanismo, o *driver* hipercultural, pode ser verificado na representação gráfica realizada pela estudante após a mediação digital. Observa-se que a representação gráfica produzida (Figura 23, II) reproduz a representação gráfica da interface do simulador de fusão nuclear.

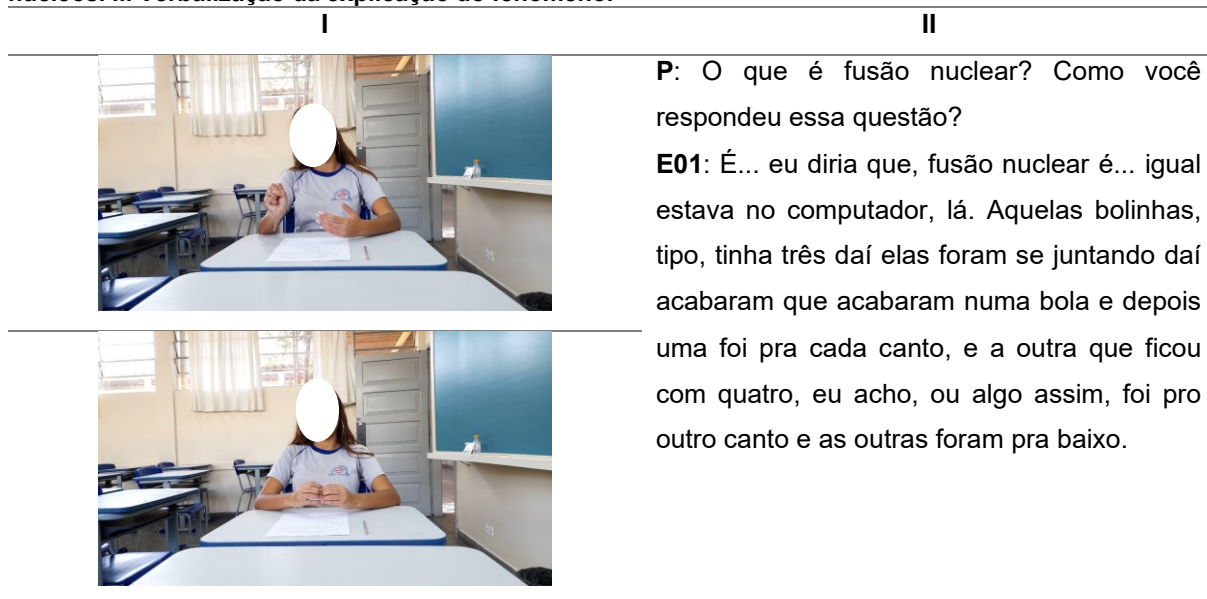
Figura 23 - I. Representação gráfica da estudante no questionário inicial. II. Representação gráfica da estudante no questionário posterior.

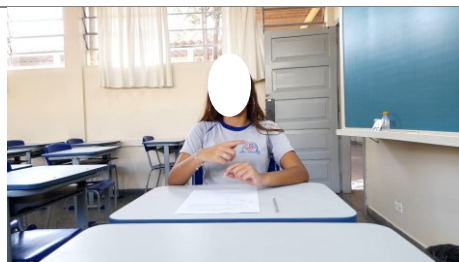


Fonte: Autoria própria (2022).

Na entrevista (figura 24), para a explicação do conceito de fusão nuclear a estudante E01 descreve um modelo mental do tipo temporal, isto é, a descrição do fenômeno obedece a uma sequência de quadros onde os elementos movimentam-se a partir de uma ordem temporal que corresponde à ordem temporal dos eventos observados.

Figura 24 - I. Movimentação das mãos aproximando-se como analogia ao comportamento das partículas durante a fusão nuclear e o dedo indicador sinalizando a movimentação dos produtos da fusão entre os núcleos. II. Verbalização da explicação do fenômeno.





Fonte: Autoria própria (2022).

Ainda, no diálogo abaixo é possível observar que o modelo mental construído pela estudante respeita uma sequência temporal contínua, com os elementos em movimento sem rupturas temporais.

P: E quando elas se juntaram, houve mais alguma coisa? Aconteceu mais alguma coisa?

E01: Saiu energia delas.

P: Liberou energia?

E01: Sim. Na hora que clicava bem na hora que juntava, saiu uma energia vermelha em volta. E umas bolinhas menores também.

P: Ah, então liberava energia e partículas?

E01: Sim.

Além de uma representação mental do tipo temporal, a estudante E01 construiu um modelo mental dinâmico ao estabelecer relações causais entre os eventos representados. No diálogo abaixo, observa-se que a fusão nuclear está condicionada à submissão das partículas às condições de calor específicas, isto é, uma avaliação recursiva do tipo 'se e somente se' foi estabelecida para a ocorrência do fenômeno observado.

P: Ok. E para que essas partículas se juntassem, como elas precisavam estar?

E01: Uma na direção da outra.

P: E...

E01: Ah, e tem que ser bastante agitada. Bem rápido. Senão não junta porque é positivo as duas.

P: Ah, a velocidade precisa ser grande?

E01: Sim.

P: Entendi. E isso pode acontecer facilmente aqui na Terra?

E01: É... não sei. Acho que no Sol.

P: Por que no Sol?

E01: Porque lá tem muito calor.

P: E o calor faz o que?

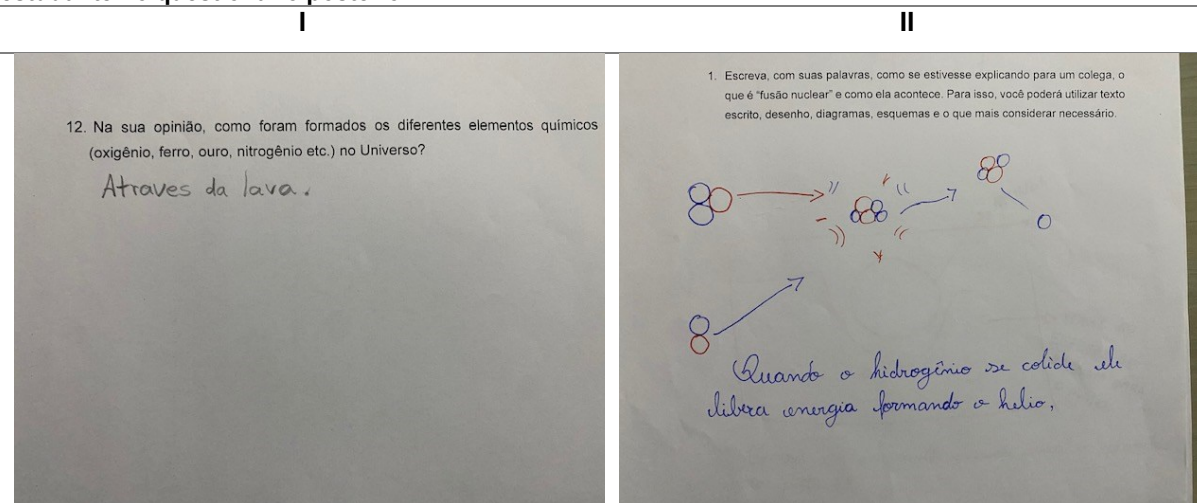
E01: Deixa elas agitadas.

Em suas respostas, a estudante E01 utiliza-se de uma linguagem verbal e de simulações mentais que se referem à utilização do simulador virtual que mediou a aprendizagem. Caracteriza-se, portanto, a emergência do *driver* hipercultural na sua construção cognitiva, ou seja, essa é uma evidência empírica de que o processamento da informação utilizada na construção dos modelos mentais para os conceitos estudados ocorreu de forma extracerebral.

Além do mecanismo cognitivo utilizado pela estudante, é possível afirmar que, de acordo com a descrição realizada, há evidências de aprendizagem conceitual no que se refere ao fenômeno analisado. A representação mental construída pela estudante está de acordo com o estabelecido pela comunidade científica, especialmente na relação entre a quantidade de calor e a quantidade de movimento das partículas, a produção de átomos maiores e a liberação de energia no processo de fusão atômica.

A análise das respostas da estudante E02 nos questionários inicial e posterior (Figura 25), indicam uma mudança tanto conceitual quanto na utilização de mecanismos cognitivos para a explicação do fenômeno estudado. É possível afirmar que, antes da interação com os simuladores virtuais (Figura 25, I) a estudante não dispunha de nenhum modelo mental coerente com o conhecimento estabelecido sobre a natureza dos elementos químicos. Após a mediação digital (Figura 25, II), a estudante construiu sua representação mental alicerçada na utilização do *driver* hipercultural, uma vez que a representação gráfica elaborada coincide com a interface digital utilizada.

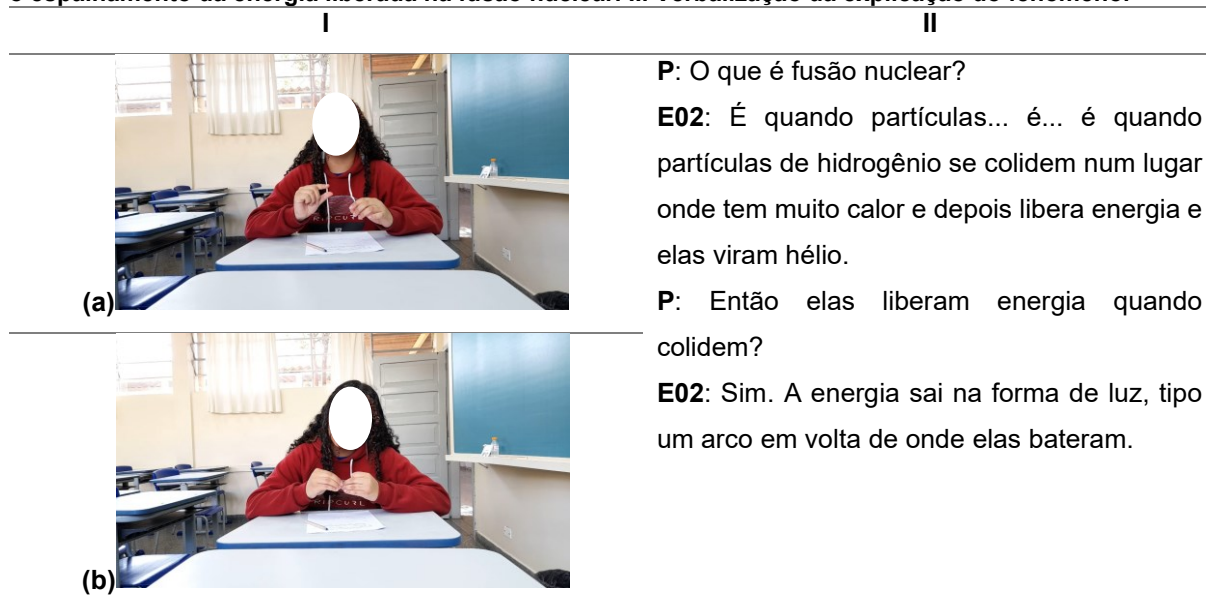
Figura 25 - I. Representação gráfica da estudante no questionário inicial. II. Representação gráfica da estudante no questionário posterior.



Fonte: Autoria própria (2022).

Na entrevista, verifica-se também que a estudante E02 construiu um modelo mental do tipo dinâmico, isto porque os gestos descreviam tanto a forma das partículas como a direção em que elas se movimentaram (figura 26 I). Durante sua explicação, a estudante descreveu o fenômeno conforme a observação feita a partir da manipulação dos simuladores virtuais (figura 26 II). Portanto, podemos afirmar que a aquisição de informações ocorreu a partir das simulações no computador, o que configura o uso de *driver* hipercultural nas operações cognitivas.

Figura 26 - I. (a) indicação com os dedos indicador e polegar do aspecto particular do átomo; (b) união das pontas dos dedos das mãos indicando a fusão entre as partículas; (c) e (d) abertura dos dedos indicando o espalhamento da energia liberada na fusão nuclear. II. Verbalização da explicação do fenômeno.





Fonte: Autoria própria (2022).

A relação de causalidade entre os eventos modelados mentalmente pela estudante pode ser observada no excerto abaixo, retirado da entrevista:

P: E, para que elas colidam, elas precisam estar de que jeito?

E02: Hum, agitadas. Se movendo rápido.

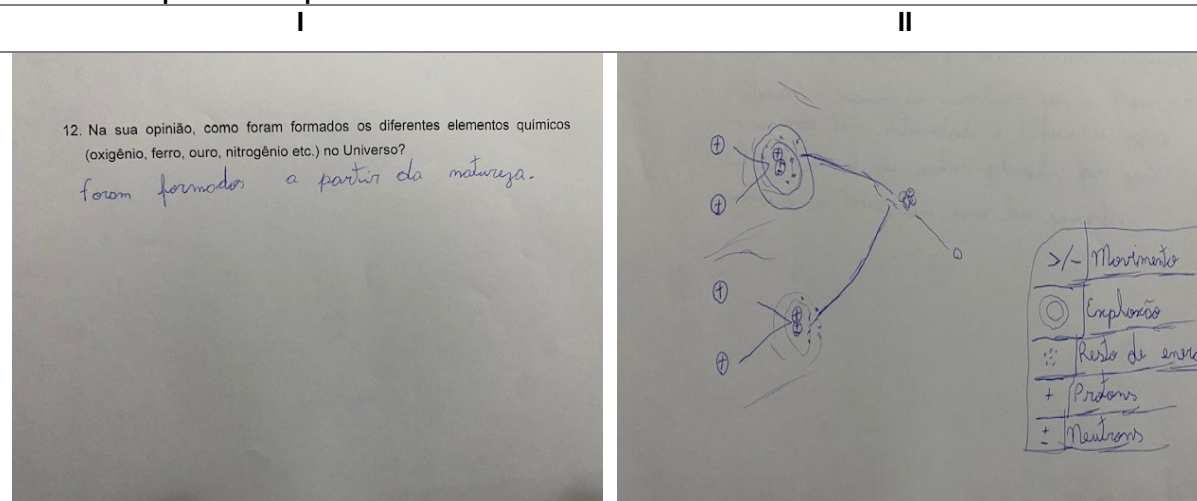
P: Você acha que é mais fácil elas se chocarem quando estão mais agitadas ou menos agitadas?

E02: Mais agitadas. Elas precisam de mais calor. Tem aquilo de serem iguais e se não tiver muito rápido não encosta uma na outra.

A estudante faz referência às cargas elétricas das partículas que colidem, onde a força de repulsão elétrica é vencida pela quantidade de energia cinética dessas partículas. Por relacionar as condições iniciais das partículas ao fenômeno de fusão nuclear indicando também o produto das colisões, a estudante deixa evidente a aprendizagem conceitual sobre o caso em tela.

O estudante E03, em suas respostas às questões sobre a origem dos elementos químicos nos questionários inicial e posterior, expõe a sua evolução na aprendizagem conceitual a partir das interações com os dispositivos digitais. Na figura 27 I, observa-se que o estudante não apresentava nenhum tipo de representação mental coesa sobre a natureza dos átomos mais massivos. Na resposta do questionário posterior (figura 27, II), o estudante representou o fenômeno estudado arquitetado nas interfaces dos simuladores virtuais com os quais interagiu. O processo de fusão nuclear descrito corresponde aos elementos presentes nos quadros da simulação virtual. Dessa forma, é evidente a afirmação de que esse estudante utilizou-se do *driver* hipercultural para a construção de sua representação mental sobre o fenômeno abordado.

Figura 27 - I. Representação gráfica do estudante no questionário inicial. II. Representação gráfica do estudante no questionário posterior.



Fonte: Autoria própria (2022).

Durante a entrevista, o estudante E03 não utilizou a linguagem gestual para explicar o fenômeno da fusão nuclear. Entretanto, o discurso verbal do estudante apresenta detalhes que evidenciam a construção de um modelo mental do tipo dinâmico. Os termos utilizados pelo estudante indicam a realização de uma simulação mental a partir da aquisição das imagens mentais adquiridas a partir da simulação virtual de fusão nuclear no Sol. A figura 28 compara as respostas do estudante com as imagens do simulador virtual.

Figura 28 - Comparação entre a expressão verbal do estudante (I) com o layout do simulador virtual (II).

I

P: Eu queria que você me explicasse como você pensou para responder essas perguntas. Primeiro, sobre fusão nuclear. O que você respondeu sobre essa pergunta?

E03: é quando dois átomos colidem gerando uma quantidade de energia.

P: E como seria essa colisão entre eles?

E03: Ah, é tipo, eles estão em movimento e batem um no outro (a). Vai soltar um

II

(a)

Fusão nuclear: ${}^2_1\text{H} + {}^2_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_0\text{n}$

pouco de energia e um deles provavelmente vai virar nêutron (b).

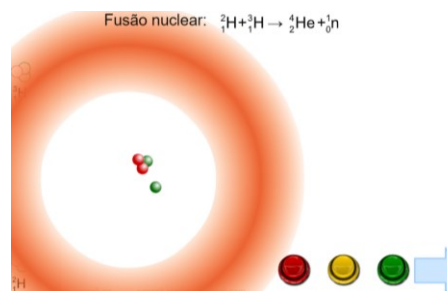
P: Ah, um deles vai virar nêutron?

E03: Provavelmente.

P: E por que?

E03: Libera um pouco de energia daí ele se transforma.

(b)



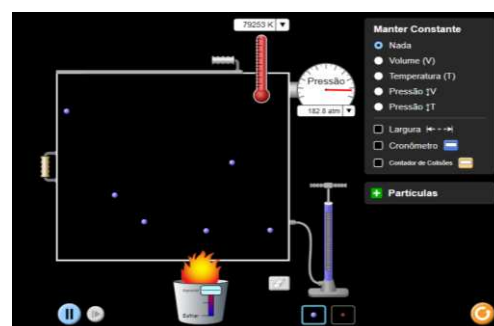
P: E para eles colidirem, eles precisam estar de que jeito? Em que estado?

E03: Eles precisam estar mais quentes, mais agitados.

P: Mais agitados. Então, quando eles colidem, eles liberam energia.

E03: Sim.

(c)



P: E libera mais alguma coisa?

E03: Na maioria das vezes uma partícula sai.

P: Uma partícula é liberada?

E03: Sim.

P: Aquele que se juntou, ele forma um novo elemento?

E03: Sim. O hélio (c).

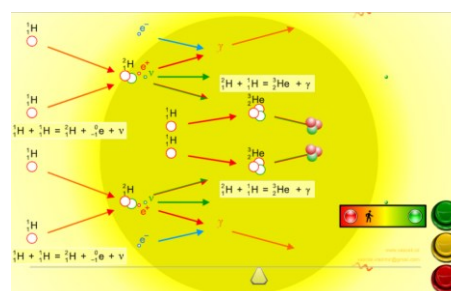
P: E o hélio é diferente em que do átomo anterior da colisão?

E03: É mais pesado.

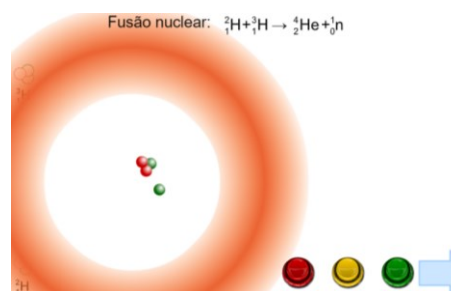
P: E a energia e as partículas liberadas, elas vão pra algum lugar específico quando são liberadas?

E03: Não. Sai pra todo lado. Tem um arco de energia que cresce em volta (d).

(d)



(e)



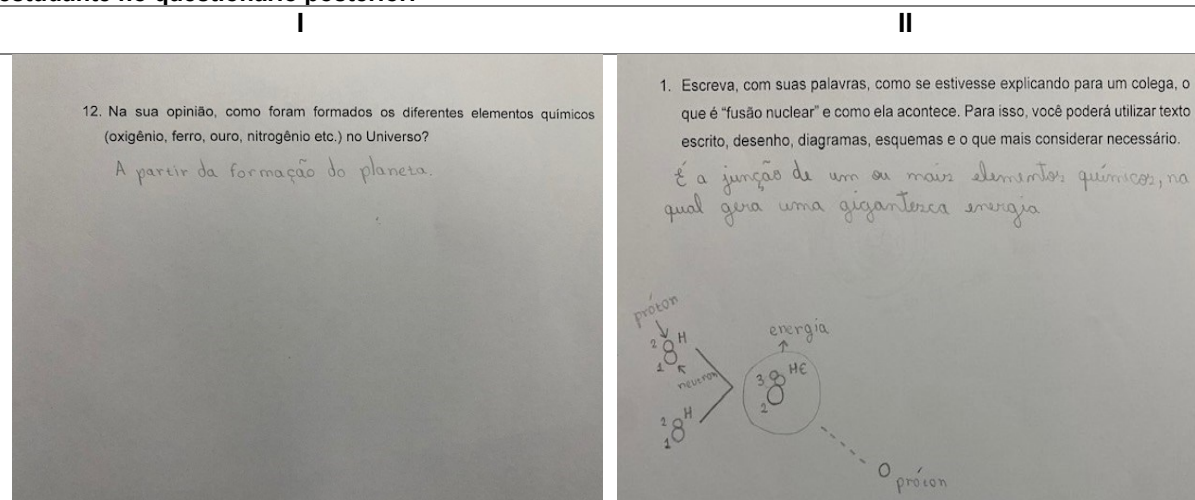
Fonte: Autoria própria (2022).

De acordo com a linguagem verbal do estudante E03, podemos confirmar que a mediação hipercultural realizada pelos simuladores virtuais possibilitou ao estudante

a utilização do *driver* hipercultural na construção dos seus modelos mentais sobre os fenômenos físicos estudados. É possível afirmar que o estudante apresenta em seu discurso evidência de aprendizagem conceitual, uma vez que descreve o fenômeno de fusão nuclear a partir de suas causalidades. Observa-se, porém, que, apesar de grande parte da explicação dada pelo estudante estar coerente com o conhecimento científico, há uma dúvida no que se refere ao surgimento de um nêutron após a fusão de núcleos de hidrogênio. Nenhum dos simuladores virtuais utilizados descreve esse fenômeno.

Do mesmo modo que os estudantes anteriores, a estudante E08 também registrou em suas respostas nos questionários inicial e posterior o desenvolvimento de sua aprendizagem conceitual e a evolução dos mecanismos cognitivos utilizados para a construção de sua representação mental sobre o conceito de fusão nuclear. Na figura 29 I a estudante demonstra não conhecer o processo de fusão nuclear e suas implicações na produção de elementos químicos mais pesados. Já na figura 29 II, após a interação com os dispositivos digitais, a estudante constrói um modelo mental fundamentado nos elementos presentes nas interfaces dos simuladores virtuais. Com esse dado, é possível afirmar que o processamento interno de informações da estudante se deu sob a égide do *driver* hipercultural, descrito pela TMC.

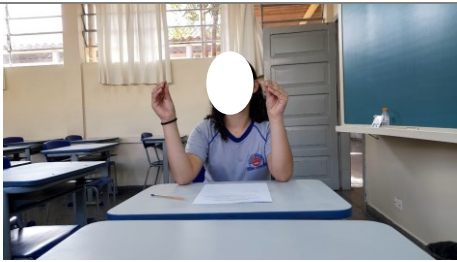

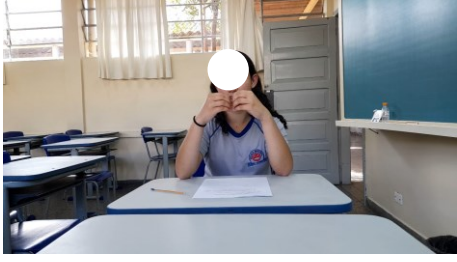

Figura 29 - I. Representação gráfica do estudante no questionário inicial. II. Representação gráfica do estudante no questionário posterior.



Fonte: Autoria própria (2022).

Durante a entrevista individual, a descrição realizada pela estudante E08 mostra também um processo evolutivo de classes de modelos mentais físicos. A transcrição dos diálogos combinada com a análise dos gestos utilizados para a explicação do conceito de fusão nuclear (figura 30) evidencia uma progressão da modelagem mental do tipo espacial, seguido do temporal e do cinemático.

Figura 30 - I. (a) Junção das pontas dos dedos indicando a característica particular dos núcleos atômicos; (b) aproximação das mãos indicando a colisão entre os núcleos atômicos; (c) união dos dedos das mãos esquerda e direita indicando a fusão dos núcleos atômicos; (d) mãos abertas e afastadas descrevendo o espalhamento de energia após a colisão dos núcleos dos átomos. II. Verbalização da explicação do fenômeno.

| I | II |
|--|--|
| <p>(a) </p> | <p>P: Como você explicaria o que é fusão nuclear?</p> <p>E08: Diria que, tipo, é a junção de dois ou mais elementos químicos.</p> <p>P: E como que isso acontece? Como as partículas precisam estar pra isso acontecer?</p> |
| <p>(b) </p> | <p>E08: Tipo assim, vai ter um elemento, por exemplo, vai ter duas partículas, daí um próton e um nêutron, que vai juntar com outra e vai fazer, tipo, outra coisa, outro elemento. Por exemplo, um hidrogênio, com duas partículas, um próton e um nêutron, junto com um igual ele vai virar um hélio com mais partículas.</p> |
| <p>(c) </p> | <p>[...]</p> <p>P: E quando elas se chocam, o que acontece?</p> <p>E08: Elas se juntam.</p> <p>P: Só isso?</p> |
| <p>(d) </p> | <p>E08: Não. Tipo, tem umas partículas que saem e tem uma energia também que sai. Uma energia muito grande.</p> <p>P: E pra onde isso vai? Tem alguma direção específica?</p> <p>E08: Vai tipo, assim, essas partículas colidem, tipo, ficam em volta disso. Depois vai se expandindo pra todo lado.</p> |

Fonte: Autoria própria (2022).

Inicialmente, ao descrever a fusão nuclear como a “*junção de dois ou mais elementos químicos*” (E08), a estudante indica um modelo mental no qual há uma ordem temporal correspondente à sequência temporal dos eventos. Os gestos descritivos também indicam que a representação mental construída pela estudante obedece a uma ordem temporal dos eventos estudados. Esse modelo passa para um modelo cinemático ao estabelecer transformações e movimentos dos elementos representados sem que haja uma ruptura temporal. Isso pode ser observado na descrição que a estudante faz sobre as condições iniciais e finais das partículas durante o processo de fusão nuclear. Além disso, a estudante apresenta, como forma de expressão mental, o mecanismo cognitivo hipercultural, ou seja, o *driver* hipercultural relacionando sua representação mental aos eventos simulados virtualmente.

Em um outro momento da entrevista a estudante deixou evidente que, apesar de usar a mediação digital como estratégia cognitiva, a construção dos seus modelos mentais ocorreu a partir da associação de dois modos de mediação cognitiva descritos pela TMC: a mediação social e a mediação digital. O diálogo abaixo deixa flagrante a participação da mediação social no estabelecimento de um vínculo cognitivo tanto em relação ao conteúdo científico estudado, quanto ao liame entre estrutura cognitiva e artefato digital.

P: E você conseguiu entender isso [conceito de fusão nuclear] quando eu falei, ou quando você viu os vídeos ou o simulador?

E08: Na verdade, eu entendi quando o E09 me explicou. Ele fez várias vezes no computador e me explicou o que ia acontecendo.

P: Ah, que bacana. Isso é ótimo!

E08: Ele até abriu umas páginas bem diferentes lá pra me mostrar. Umas fotos, uns negócios lá parecidos com aquilo que o senhor mandou a gente fazer.

P: Lá no laboratório mesmo?

E08: Sim. Quando tinha o tempo pra gente mexer no computador.

P: E ele usou o simulador que eu indiquei pra explicar também, ou não?

E08: Usou. A gente foi, tipo em câmera lenta pra entender os processos. Mas, ele também abriu uns, tipo umas fotos que se mexem, esqueci o nome...

P: Gifs?¹⁷

E08: Isso, acho que é isso.

P: Você acha que essas imagens que ele te mostrou, o simulador que vocês usaram, isso te ajudou a entender as coisas?

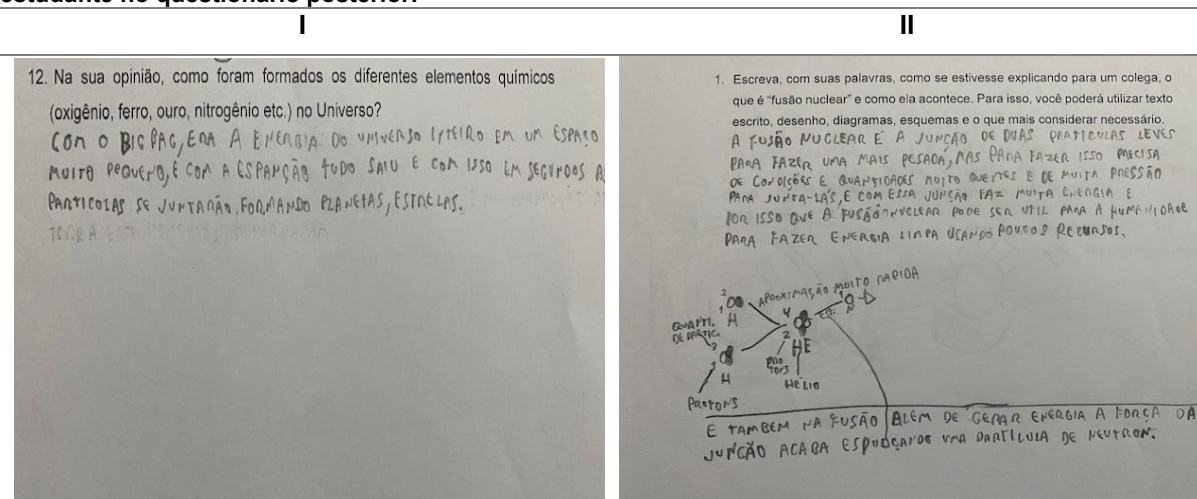
E08: Sim, sim. Tipo, como é coisa que não dá pra ver, tipo partícula, como o senhor disse, não dá pra ver só quando fala.

¹⁷ GIF é a sigla em inglês para *Graphics Interchange Format*. Trata-se de um formato de imagem que compacta dados a fim de transformar uma imagem estática em imagem com movimento.

Os trechos grifados mostram a interação social que ocorreu dentro da interação virtual. Isso reforça o argumento de que, durante o processo ensino-aprendizagem mediado por tecnologias digitais, a condição sociointeracionista é um potencializador do processo de construção do conhecimento. Mais uma vez, a partir das falas transcritas, é possível afirmar que houve aprendizagem conceitual sobre fusão nuclear especialmente nas condições iniciais do sistema físico que possibilita a ocorrência desse fenômeno e nos produtos da colisão entre os átomos.

O estudante E09, em suas respostas às questões sobre a natureza dos elementos químicos e sobre o conceito de fusão nuclear dos questionários inicial e posterior, demonstra um caráter argumentativo mais sofisticado conceitualmente em relação aos demais estudantes avaliados. Observa-se que, na figura 31 I, apesar de não descrever o fenômeno de fusão nuclear em si, o estudante relaciona conceitos como *Big Bang*, expansão do Universo, energia e partículas que podem ser associados à fusão nuclear. Já na resposta construída após a mediação digital (figura 31 II), o estudante arquiteta uma representação mais acurada do fenômeno de fusão nuclear, suas condições iniciais e seus produtos. Essa é uma evidência da utilização do *driver* hipercultural na construção do modelo mental do estudante.

Figura 31 - I. Representação gráfica do estudante no questionário inicial. II. Representação gráfica do estudante no questionário posterior.



Fonte: Autoria própria (2022).

Na entrevista, assim como no questionário posterior, o estudante E09 demonstrou bastante domínio conceitual ao explicar sobre a definição de fusão nuclear e as condições necessárias para esse fenômeno. O mesmo estudante relatou durante as aulas que tem muita afinidade com assuntos relacionados à cosmologia. Por esse motivo, o seu interesse nas aulas foi acima da média dos colegas. Outro ponto importante de se considerar é que esse estudante relatou que assiste com frequência vídeos sobre cosmologia e assuntos relacionados à física contemporânea em diversos canais de divulgação científica na Internet.

Os dados coletados na entrevista deixam evidentes a utilização do *driver* hipercultural na construção de modelos mentais dos tipos cinemático e dinâmico pelo estudante E09. Além disso, observa-se uma linguagem verbal mais sofisticada em comparação com os demais estudantes, fator que pode estar ligado às interações extraclasse relatadas pelo estudante, isto é, ao seu interesse e buscas por assuntos do conhecimento científico. A seguir, a explicação verbal utilizada pelo estudante durante sua resposta na entrevista.

P: Pra você, o que é fusão nuclear?

E09: É quando junta duas partículas leves pra fazer uma mais pesada, pra gerar energia. E daí, precisa de condições e quantidades muito específicas de pressão e temperatura pra fazer essas partículas se juntarem. Daí, precisa quebrar uma barreira que é a barreira das partículas que positivo com positivo não pode se juntar, pra fazer um núcleo de hélio.

P: E essas partículas precisam estar de que jeito pra elas conseguirem se fundir?

E09: Rápidas, muito rápidas, tipo com energia muito grande pra ficar muito agitadas pra romper a barreira.

P: Tem alguma direção específica para onde elas se movem?

E09: Não, é bem aleatória. No computador elas estavam pra todos os lados.

P: Tá, mas por que no núcleo da estrela isso acontece de forma mais fácil?

E09: Porque lá tem mais pressão e temperatura.

P: E quando isso acontece, é liberado alguma coisa, além das partículas que se juntam? Quando elas se juntam, elas formam alguma coisa maior, ou mais pesada?

E09: Quando se juntam a massa aumenta e muda o elemento químico que se formou, porque aumenta a quantidade de partículas.

P: E além dessas partículas que se juntaram, libera mais alguma coisa?

E09: Energia. Quando elas se juntam, uma parte se transforma em partícula que sai e libera muita energia ao redor da colisão.

P: Então você acha que essa movimentação das partículas é que faz com que elas colidam?

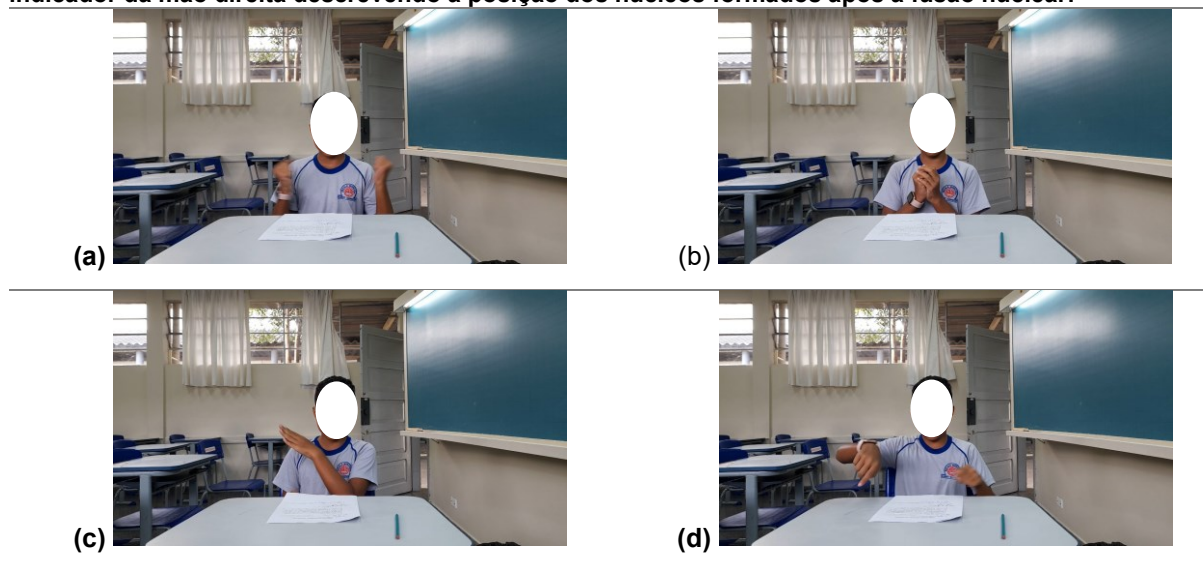
E09: Sim.

P: E onde vão ficando esses elementos mais pesados que vão se formando?

E09: Acho que vai ficando em torno de onde ocorreu as colisões, vai se espalhando e vai ocorrendo mais colisões.

Pela resposta fornecida pelo estudante E09, é possível identificar um modelo mental fundamentado em uma sequência temporal contínua, onde os elementos transformam-se e movimentam-se a partir de relações causais entre os eventos representados. Os trechos grifados são evidências de que a modelagem interna do estudante se estrutura em causalidades. O estudante condiciona o fenômeno de fusão nuclear ao estado de movimento inicial das partículas e a liberação de energia à colisão dos núcleos atômicos. A figura 32 apresenta os gestos realizados pelo estudante na explicação do conceito de fusão nuclear durante a entrevista.

Figura 32 - (a) Punhos fechados e agitados indicando a condição dos núcleos atômicos sob calor; (b) união dos dedos das mãos esquerda e direita indicando a fusão dos núcleos atômicos; (c) mão esquerda descrevendo a trajetória da partícula liberada após a fusão nuclear; (d) movimentação circular do dedo indicador da mão direita descrevendo a posição dos núcleos formados após a fusão nuclear.



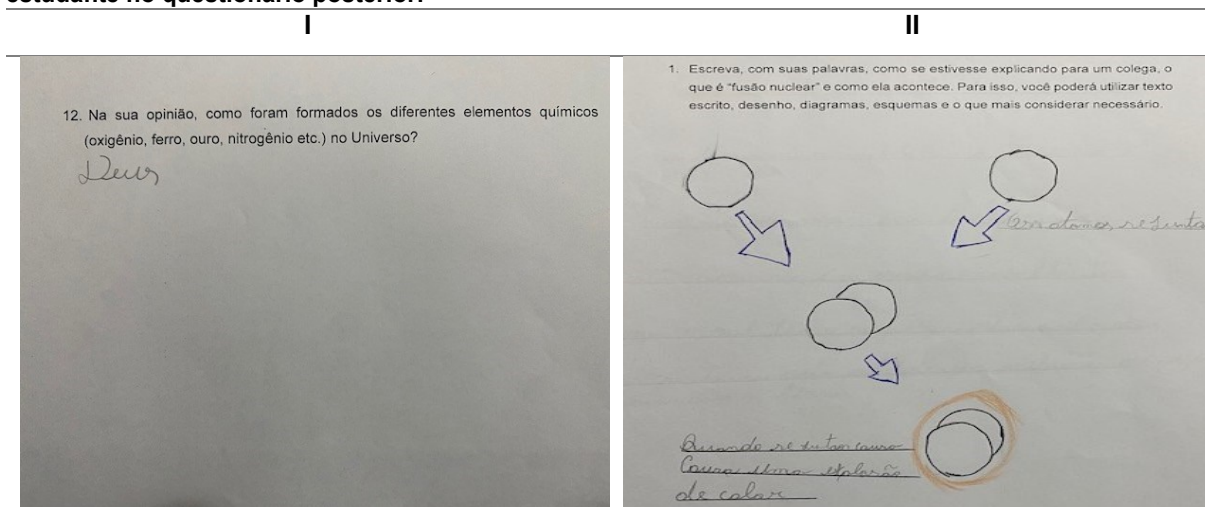
Fonte: Autoria própria (2022).

Os gestos descritivos do estudante E09 reforçam a evidência de um modelo mental fundamentado na interação com os simuladores virtuais, fato esse que reitera a mediação cognitiva a partir do *driver* hipercultural.

Os dados coletados nos questionários inicial e posterior do estudante E10 sobre a formação de elementos químicos e o conceito de fusão nuclear indicam a construção de um modelo mental estruturado na interação com os simuladores virtuais. Para além, é possível atestar a evolução nos mecanismos cognitivos utilizados pelo estudante no processamento das informações referentes aos conceitos em questão. Na figura 33 I, ao atribuir a formação dos elementos químicos à Deus,

pode-se atestar a mediação cultural como base na estrutura cognitiva do estudante ao formular tal explicação. Já na figura 33 II, a resposta do estudante após os processos de interação com as interfaces virtuais, identifica-se a utilização do *driver* hipercultural na construção da nova representação mental sobre os conceitos debatidos.

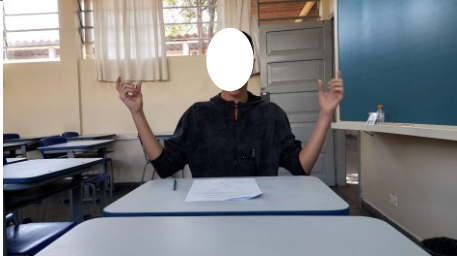



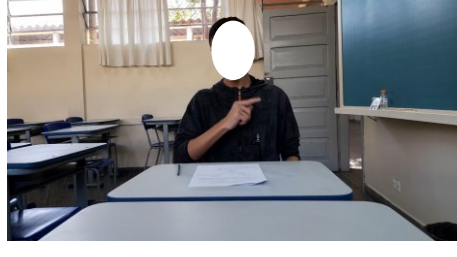
Figura 33 - I. Representação gráfica do estudante no questionário inicial. II. Representação gráfica do estudante no questionário posterior.



Fonte: Autoria própria (2022).

O mesmo tipo de configuração cognitiva pode ser observado nas respostas do estudante E10 durante a entrevista individual. A transcrição das falas desse estudante, combinada com os gestos descritivos realizados por ele na figura 34 apresentam evidências da utilização do *driver* hipercultural na construção de modelos mentais do tipo temporal e cinemático.

Figura 34 - I. (a) Dedos indicadores e polegares descrevendo a característica particular dos núcleos atômicos; (b) aproximação das mãos indicando a colisão entre os núcleos atômicos; (c) união dos dedos das mãos esquerda e direita indicando a fusão dos núcleos atômicos; (d) mãos abertas e afastadas descrevendo o espalhamento de energia após a colisão dos núcleos dos átomos; (e) dedo indicador da mão direita descrevendo a trajetória da partícula liberada após a fusão dos núcleos. II. Verbalização da explicação do fenômeno.

| | |
|--|---|
| <p>(a)</p>  | <p>P: O que você pensou quando respondeu a primeira pergunta? Como você explicaria a fusão nuclear?</p> <p>E10: A fusão nuclear é quando tem, assim, os átomos lá [gestos a] que quando eles saem eles podem se juntar [gestos b e c] e formar outros e energia. Igual ao que eu coloquei aqui, quando os átomos se juntam formam outros e tem uma explosão com liberação de energia.</p> |
| <p>(b)</p>  | <p>P: Ok. Você disse que tem a liberação de energia. Essa energia vai pra algum lugar específico ou não?</p> <p>E10: Ela vai pra todo lado assim.</p> |
| <p>(c)</p>  | <p>P: E tem a liberação de mais alguma coisa quando isso acontece?</p> <p>E10: Quando os átomos se batem, tem a energia que sai assim [gestos d] e umas partículas pequenas que saem pra outro lado [gestos e].</p> |
| <p>(d)</p>  | |
| <p>(e)</p>  | |

Fonte: Autoria própria (2022).

As respostas do estudante evidenciam um modelo mental com uma ordem temporal psicologicamente contínua em que os elementos - “*átomos, energia, partículas pequenas*” (E10) - movimentam-se e transformam-se sem que ocorra um hiato temporal. Para além, na sequência das respostas do estudante, verifica-se a mudança para um modelo mental do tipo dinâmico ao estabelecer relações causais

entre os eventos descritos e as condições iniciais dos elementos modelados. Essa evolução pode ser observada no excerto a seguir.

P: E para que esses átomos se choquem, para que isso aconteça, como esses átomos têm que estar?

E: Têm que estar bem quente, porque assim eles se agitam bem rápido, e vai pra todo lado e acabam se chocando.


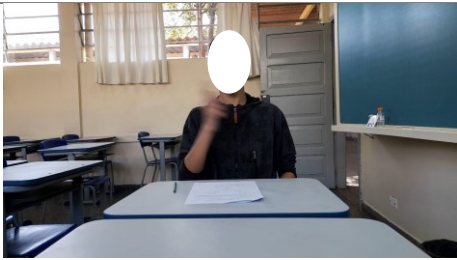
P: O calor influencia, então?

E10: Sim. Se a gente colocar calor, elas se agitam mais.

Cabe destaque o trecho em que o estudante diz “*se a gente colocar calor*” (E10) em que é possível afirmar a utilização do *driver* hipercultural por se tratar de uma ação direta do simulador de propriedades dos gases utilizado pelos estudantes para analisar o comportamento das partículas sob calor.

Ainda, quando perguntado sobre as condições solares para a fusão dos núcleos atômicos, o estudante relacionou diretamente a simulação virtual com o fenômeno físico no Sol. Isso pode ser observado na descrição gestual combinada com a descrição verbal do estudante, na figura 35.

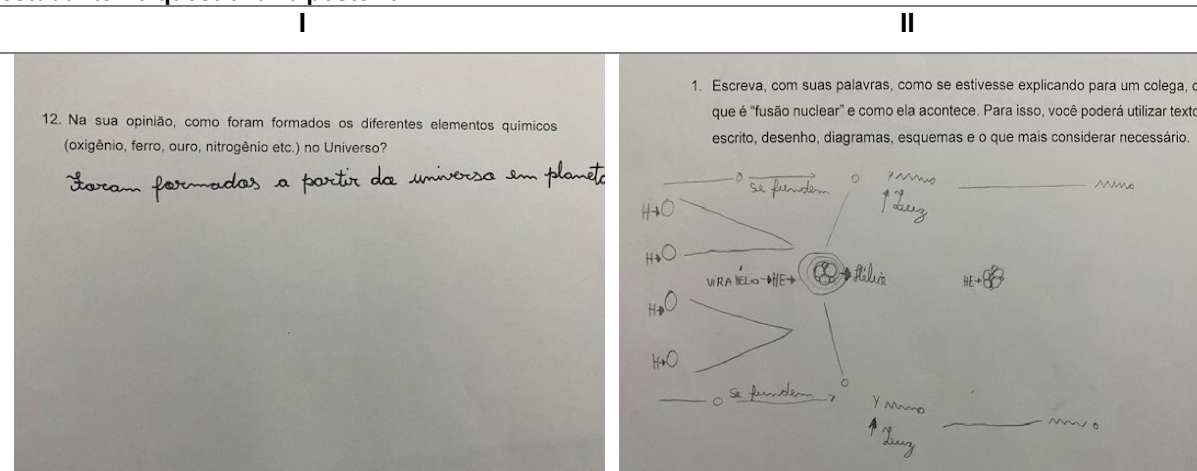
Figura 35 - I. Movimentação rápida do dedo indicador para os lados como analogia ao comportamento das partículas sob ação do calor no interior do Sol. II. Verbalização da explicação do fenômeno.

| I | II |
|---|--|
|  | <p>P: Por que você acha que no Sol isso [colisão entre núcleos atômicos] acontece com mais facilidade?</p> |
|  | <p>E10: Porque tem mais energia lá. Deixa as partículas mais quentes.</p> |
| | <p>P: E como você acha que estão essas partículas lá no Sol?</p> |
| | <p>E10: Ih, que nem loucas [gesticulando com o dedo indicador da mão direita].</p> |
| | <p>P: Entendi.</p> |
| | <p>E10: <u>Igual aquele simulador de colocar calor. Se coloca mais calor as partículas ficavam loucas, agitadas.</u> Então, se no Sol tem muito calor, elas devem estar mais rápidas ainda.</p> |

Mais uma vez o estudante relaciona o seu modelo mental à descrição gráfica apresentada pelo simulador virtual. Nesse ponto o estudante conseguiu relacionar o evento isolado do simulador virtual com a ocorrência deste fenômeno no Sol. Com a argumentação do estudante é possível afirmar que houve aprendizagem conceitual sobre a definição de fusão nuclear, relacionando, ainda, esse fenômeno às condições físicas do Sol.

Na sequência, as respostas da estudante E11 para as questões sobre a origem dos elementos químicos e o conceito de fusão nuclear indicam tanto a mudança na utilização dos mecanismos cognitivos para a construção de suas representações internas, quanto a alteração conceitual dessas representações. Na figura 36 I é possível afirmar que a estudante não dispunha de um modelo mental coerente com o conhecimento científico estabelecido sobre a natureza dos elementos químicos, apoiando-se em aspectos conceituais das mediações social e cultural. Após as interações com os simuladores virtuais, a estudante passa a utilizar o *driver* hipercultural (figura 36 II) como mecanismo para a construção do novo modelo mental sobre a fusão entre núcleos atômicos.

Figura 36 - I. Representação gráfica do estudante no questionário inicial. II. Representação gráfica do estudante no questionário posterior.



Fonte: Autoria própria (2022).

De forma semelhante, a estudante E11, na entrevista individual, demonstra utilizar o *driver* hipercultural para construir seu modelo mental sobre a fusão de

núcleos atômicos. A estudante também se utiliza dos desenhos que realizou no questionário posterior para explicar a sua linha de raciocínio durante a entrevista. A transcrição do diálogo permite afirmar que a estudante, inicialmente, parte de um modelo cinemático, isto é, descrevendo movimentos e transformações dos elementos em uma sequência temporal contínua e, quando arguida sobre as condições necessárias para que o fenômeno observado ocorra, a estudante estabelece relações causais entre os quadros construídos mentalmente. Desse modo, podemos afirmar que, ao longo da explicação, a estudante construiu um modelo mental do tipo dinâmico. Os trechos destacados na transcrição a seguir corroboram essas evidências:

P: Então, tem duas perguntas aí no questionário. Uma sobre fusão nuclear e outra sobre campo gravitacional. O que você colocou, ou o que você pensou quando respondeu essa pergunta aí no questionário sobre fusão nuclear?

E11: Fusão nuclear? Eu entendo que o hidrogênio, ele passa por uma fundição, fusão, e com isso ele vira o hélio. E quando vira o hélio acontece uma explosão. Essa explosão, porque aquece muito, daí essa explosão de energia. Aí uma dessas partículas, elas saem. Porque essas partículas são de luz.

P: Beleza. Vamos tentar explicar isso mais devagar? Como estavam essas partículas de hidrogênio antes de se juntarem? Antes de formar o hélio.

E11: Essas partículas precisam estar aquecidas.

P: E Esse aquecimento faz com que elas fiquem como?

E11: Agitadas e muito rápidas.

P: E elas se movem em uma direção específica ou aleatória?

E11: Elas se movimentam em uma direção específica, essas partículas de hidrogênio [apontando o desenho]. Só que essas partículas que saem do hidrogênio quando acontece essa fusão, elas saem só que em direção diferente da do hélio.

P: Então, como ocorreria essa fusão causada pelo aquecimento?

E11: As partículas estão agitadas e vão, as de hidrogênio, elas se batem uma na outra de uma vez e com isso acontece uma explosão. Essa explosão libera muita energia. Aí dentro fica uma matéria, dentro dessa explosão. Daí essas partículas saem [apontando para o desenho] e no meio fica o hélio que formou.

P: E essa energia que é liberada, ela vai pra todos os lados ou pra alguma direção específica?

E11: A energia? Ela vai pra todos os lados.

P: E o hélio que foi formado, ele tem mais massa ou menos massa que o hidrogênio?

E11: Ele tem mais massa.

P: E quando ele se formou, ele se movimentou do mesmo jeito que o hidrogênio estava antes? A velocidade é a mesma?

E11: Não. Ele vai se mover mais devagar, eu acho.

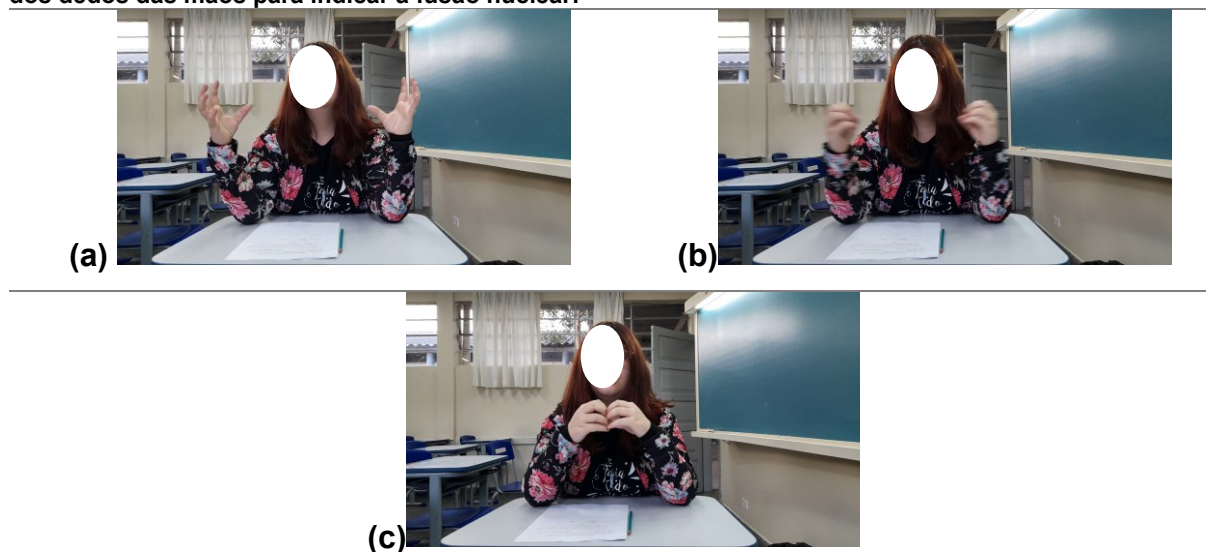
P: Entendi. Então, além da energia você disse que libera outras partículas, é isso?

E11: Sim. Essas partículas são as partículas de luz.

Além das evidências apresentadas na transcrição das falas da estudante E11, a análise dos gestos apresentados por ela permite observar o caráter cinemático da

sua representação mental sobre o fenômeno. A figura 37 evidencia que a sequência temporal do evento descrito não sofre interrupções, reforçando a propriedade contínua de seu modelo mental.

Figura 37 – (a) Mãos abertas e afastadas descrevendo a posição inicial dos núcleos atômicos; (b) aproximação das mãos descrevendo a trajetória de colisão dos núcleos atômicos; (c) união das pontas dos dedos das mãos para indicar a fusão nuclear.



Fonte: Autoria própria (2022).

A partir da descrição das condições iniciais das partículas, da relação entre calor e movimento e da liberação de energia e partículas no momento da fusão entre núcleos atômicos, pode-se atestar que houve a aprendizagem conceitual do fenômeno estudado.

A análise da transcrição das respostas da estudante E12 deixa evidente a utilização do mecanismo cognitivo hipercultural na construção de seus argumentos. Essa estudante não apresentou gestos descritivos que, combinados com sua expressão verbal, pudessem descrever o fenômeno observado. Os trechos em destaque na transcrição a seguir mostram o seu recurso às interfaces virtuais utilizadas durante as aulas.

P: Você poderia me dizer o que pensou quando respondeu o que é fusão nuclear?

E12: Eu lembro que foi o programa das bolinhas. Eu vi que elas se juntavam porque estavam agitadas e quando elas batiam, elas explodiam e saía aquele negócio vermelho.

P: Você sabe me dizer o que eram aquelas bolinhas?

E12: Partículas?

P: Partículas. Sabe me dizer do que?

E12: Acho que de átomos.

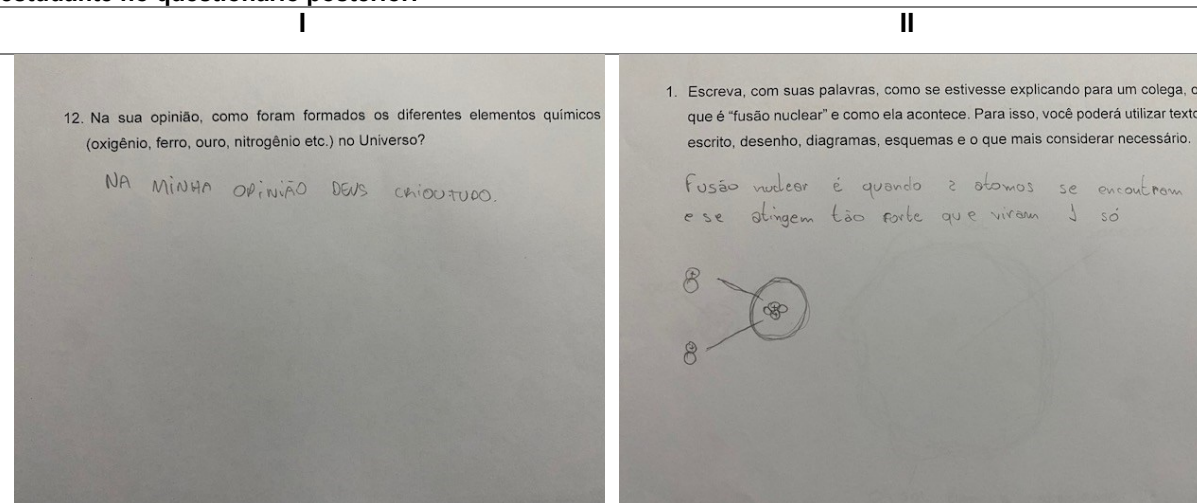
P: Ok. Então como essas partículas estavam, mesmo?

E12: Elas, assim, elas estavam separadas. Daí, quando a gente apertava o verde elas iam e se juntavam, fazendo uma explosão e uma partícula mais grande.

Quanto ao tipo de representação mental construída pela estudante E12, percebe-se que foi detectado um modelo mental relacional simples, onde há um conjunto finito de elementos que representam um conjunto finito de propriedades físicas e um conjunto finito de relações entre essas propriedades.

Da mesma forma que o estudante E10, o estudante E13 apresentou em suas respostas às questões dos questionários inicial e posterior evidências da mudança nos mecanismos cognitivos utilizados e na elaboração de um modelo mental mais coerente com o conhecimento científico. Na figura 38 I, o estudante faz uso dos mecanismos cognitivos construídos a partir dos processos de mediação social e cultural. Não há, no início, um modelo mental coerente com o conceito científico em questão. Na figura 38 II, após a mediação digital a partir da interação com os simuladores virtuais, o estudante constrói uma representação mental mais congruente com o estabelecido pelo conhecimento científico. Além disso, pelos elementos descritos na resposta do estudante, ainda na figura 38 II, pode-se afirmar que o novo modelo mental está arquitetado a partir da utilização do *driver* hipercultural.

Figura 38 - I. Representação gráfica do estudante no questionário inicial. II. Representação gráfica do estudante no questionário posterior.



Fonte: Autoria própria (2022).

Durante a entrevista individual, o estudante E13, ao atribuir ao fornecimento de calor a razão das velocidades das partículas em um sistema, se apoia cognitivamente mais uma vez no *driver* hipercultural, pois faz menção direta ao simulador virtual. O fragmento a seguir exhibe o raciocínio feito pelo estudante ao explicar o comportamento das partículas antes da fusão nuclear.

P: Pra você, o que é fusão nuclear?

E13: Fusão Nuclear? É quando os átomos, ou aquelas bolinhas ali que apareceram no vídeo, é, estão num calor muito grande e elas se chocam, e viram um só.

P: E o que esse calor influencia?

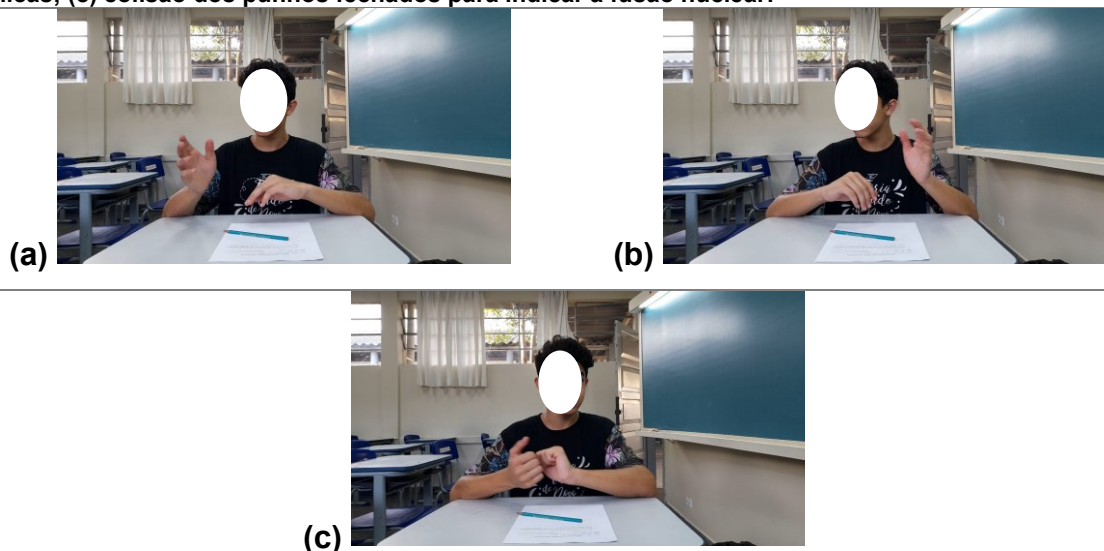
E13: Na velocidade delas. O calor faz elas se movimentarem mais rápido e isso facilita elas se juntarem, pra passar da, como é o nome mesmo? Do negócio de positivo com positivo não se juntarem? O calor faz eles se juntarem mesmo sendo iguais.

P: O calor facilita essa colisão?

E13: Sim. As partículas ficam agitadas demais e assim elas se chocam.

O estudante E13 apresenta, a princípio, um modelo mental do tipo dinâmico ao estabelecer relações causais entre os elementos representados, isto é, a quantidade de movimento das partículas está associada a quantidade de calor fornecida pelo sistema. Além disso, a quantidade de movimento das partículas também se associa a ocorrência de colisões entre elas. Os gestos descritivos do estudante, figura 39, reafirmam a evidência de um modelo mental dinâmico.

Figura 39 – (a) e (b) Movimentos realizados com as mãos descrevendo a agitação inicial das partículas atômicas; (c) colisão dos punhos fechados para indicar a fusão nuclear.



Na sequência, em mais um excerto da entrevista, é possível observar, além da relação direta entre o modelo mental construído e a utilização do *driver* hipercultural, as relações de causa e efeito em uma representação mental temporalmente contínua.

P: E quando elas colidem, o que acontece?

E13: Ocorre uma explosão de luz, energia, e elas se tornam um átomo maior. Pode se espalhar algumas, se transformar em outra.

P: Então é liberado alguma coisa?

E13: Sim. Energia e outras coisas.

P: E pra onde isso vai? Existe uma direção específica?

E13: Não. Vai pra todo lado.

P: E você poderia me dizer o que são essas outras coisas que você disse que são liberadas além da energia?

E13: Depende. Pode ser um nêutron que quando sai pode se colidir com outros.

P: E o que foi formado na fusão, vai ter o que de diferente do que tinha antes?

E13: Pode ter mais próton, e mudar de elemento. Se eles se juntam vai ter mais massa também.

P: Ele vai ter mais massa, então?

E13: Sim.

P: Esse elemento com mais massa, vai se movimentar do mesmo jeito que antes?

E13: Mais devagar.

P: Por que?

E13: Porque a energia que ele estava antes também foi liberada na explosão.

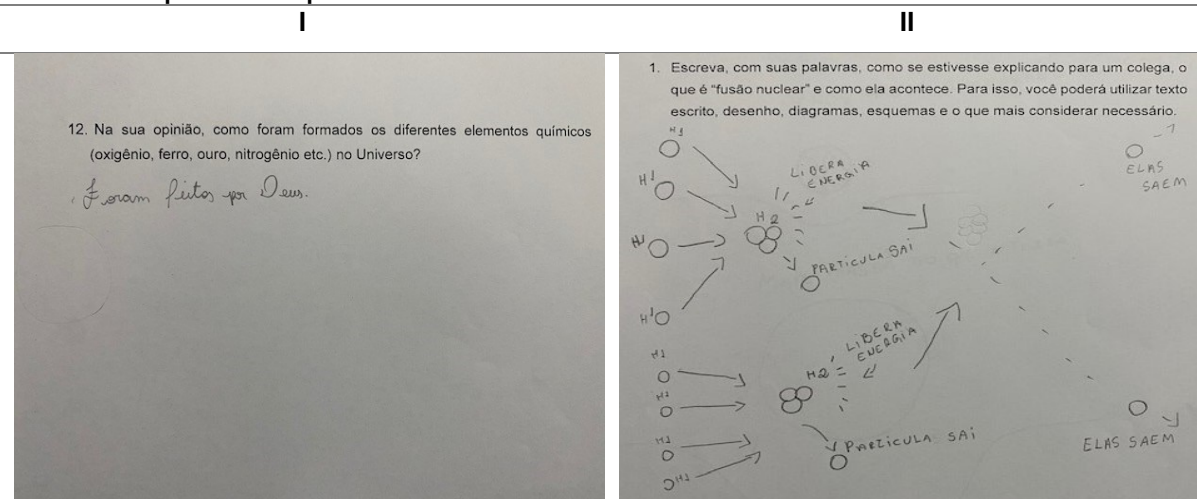
P: Então ele perdeu energia na colisão?

E13: Sim.

As falas do estudante mostram que há, no modelo mental construído, uma descrição da liberação de energia a partir da fusão de núcleos atômicos. Há ainda uma relação entre a quantidade de prótons que se agrupam e o tipo de elemento químico formado. Por fim, o estudante relaciona a quantidade de movimento à quantidade de energia dos núcleos de maior massa. Posto isso, fica evidente a aprendizagem conceitual construída pelo estudante.

Os dados coletados nos questionários da estudante E15 se assemelham em seu conteúdo aos dados coletados nos questionários dos estudantes E10 e E13. Novamente é possível observar na resposta para a questão sobre a formação dos elementos químicos presente no questionário inicial (figura 40 I), a evidência da utilização dos mecanismos cognitivos de origem social e cultural para elaborar uma explicação para tal fenômeno físico. Já na resposta coletada no questionário posterior, após a mediação digital no processo de aprendizagem (figura 40 II), a estudante expõe a utilização do *driver* hipercultural como mecanismo cognitivo na construção de um modelo mental consistente com o conhecimento científico.

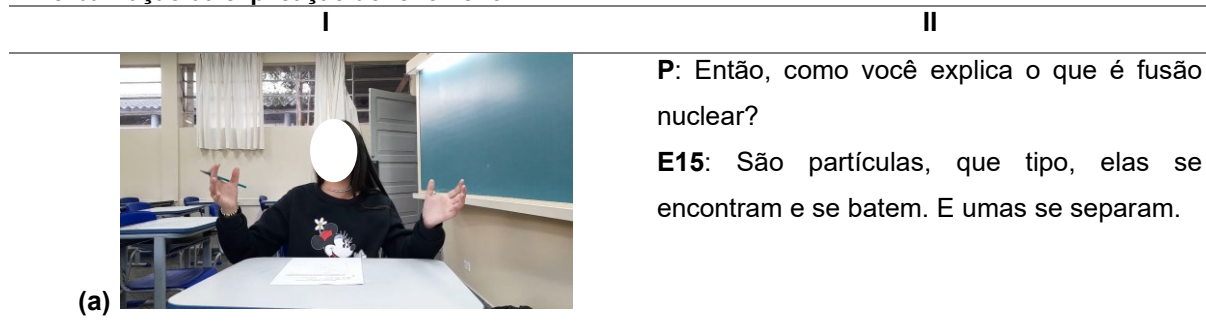
Figura 40 - I. Representação gráfica do estudante no questionário inicial. II. Representação gráfica do estudante no questionário posterior.



Fonte: Autoria própria (2022).

A transcrição das falas combinada com os gestos descritivos apresentados pela estudante E15 durante a entrevista individual (figura 41), também é uma evidência da utilização do *driver* hipercultural na construção do novo modelo mental. Na figura 41 II, esse argumento é validado a partir da descrição realizada pela estudante de forma análoga à estrutura gráfica da interface virtual utilizada.

Figura 41 - I. (a) Mãos afastadas descrevendo a condição inicial das partículas; (b) mãos se aproximando em referência à colisão entre as partículas; (c) mãos unidas indicando a fusão entre os núcleos atômicos. II. Verbalização da explicação do fenômeno.





P: Ok. Para que elas se colidam, batam, elas precisam estar em alguma condição específica?

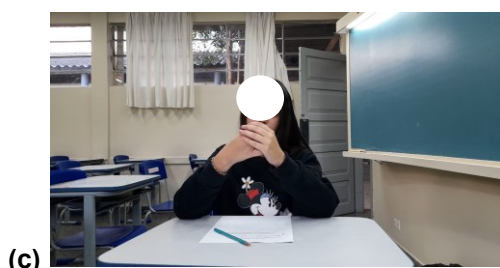
E15: Agitadas. Muito agitadas. Tipo, elas estão agitadas, daí uma encontra a outra e batem, juntando em uma só:

P: E quando elas colidem, libera alguma coisa?

E15: Energia.

P: E as partículas que colidiram formaram alguma coisa diferente?

E15: Formaram o hélio. É desse jeito que faz os átomos maiores. Quanto mais eles batem um no outro, vai juntando e ficando mais pesado. Igual o hidrogênio que você falou: ele é o mais pequeno, daí forma o hélio.



Fonte: Autoria própria (2022).

Ademais, a estudante apresenta um modelo mental do tipo cinemático ao apontar transformações e movimentos dos elementos representados. Conforme esse tipo de modelo mental, há uma sequência de quadros espaciais em um modelo temporal psicologicamente contínuo.

O estudante E16 apresenta em suas respostas uma expressão verbal bastante detalhada acerca do comportamento das partículas antes e durante o processo de fusão nuclear. Quando o estudante condiciona a fusão entre prótons à quantidade de calor presente nas partículas iniciais, tem-se a evidência da construção de um modelo mental dinâmico. Nesse caso, há relações causais entre as propriedades dos elementos representados em uma sequência temporalmente contínua. A seguir, os trechos destacados da transcrição do estudante, reforçam esse argumento.

P: Como você explicaria o que é fusão nuclear?

E16: Fusão nuclear é a fusão entre átomos, tipo em uma temperatura muito alta de milhões de graus Celsius.

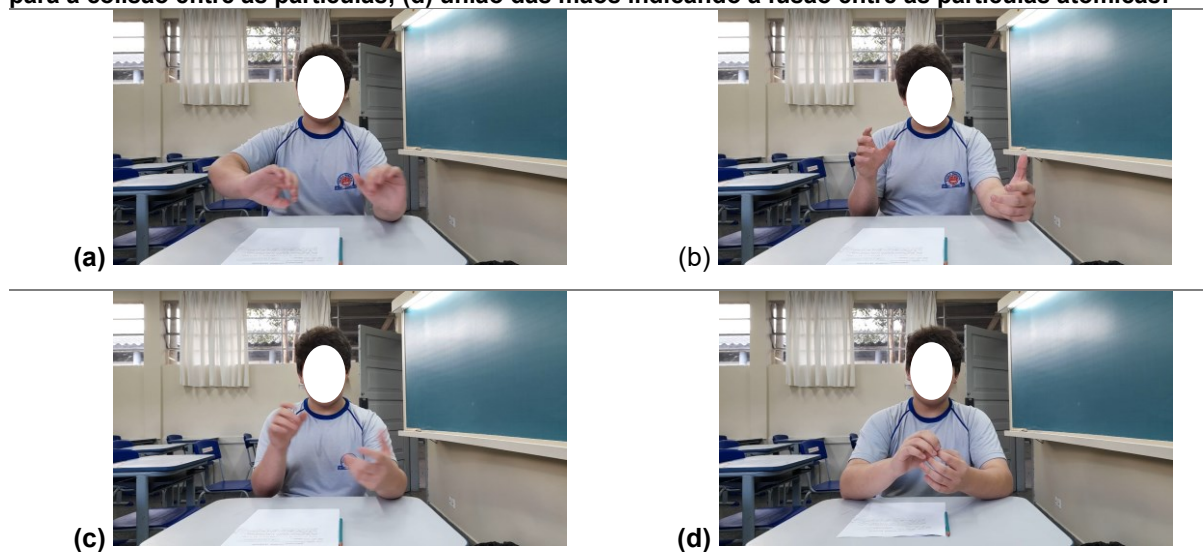
P: E por que que tem que ter essa temperatura alta?

E16: Porque... tipo, próton com próton vai se afastar se tiver lento, assim [gestos]. Só que se for uma velocidade alta, vai tipo quebrar essa barreira e

vai juntar os dois, por isso que tem os núcleos, prótons conectados com prótons.

Além da transcrição, os gestos apresentados por esse estudante (figura 42) endossam o comportamento dinâmico da representação mental construída por ele.

Figura 42 - (a) Mãos curvadas descrevendo o movimento de afastamento das partículas em condições de velocidades baixas; (b) e (c) mãos côncavas em direção uma à outra descrevendo o movimento necessário para a colisão entre as partículas; (d) união das mãos indicando a fusão entre as partículas atômicas.



Fonte: Autoria própria (2022).

Na sequência, nos destaques do excerto, o estudante demonstra utilizar o *driver* hipercultural ao contrastar o seu modelo mental com o simulador virtual utilizado. Nota-se que a composição gráfica da interface virtual condiz com a explicação dada pelo estudante sobre a liberação de energia a partir da fusão nuclear.

P: Então pra romper essa barreira precisa de uma velocidade grande, é isso?

E16: Sim, e pra ter essa velocidade tem que ter mais energia que vem do calor.

P: Muito bom. E depois que colide, próton com próton, o que acontece depois? Na colisão e logo após a colisão?

E16: Libera energia.

P: Energia?

E16: Sim.

P: E pra onde essa energia é liberada?

E16: Pra todos os lados. Forma um, é, como é o nome? Aquele arco em volta?

P: Da colisão?


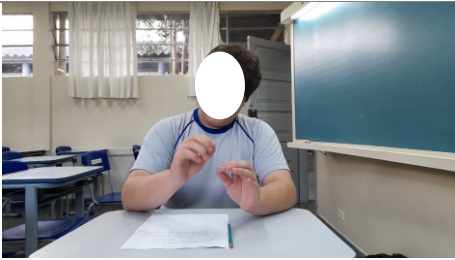
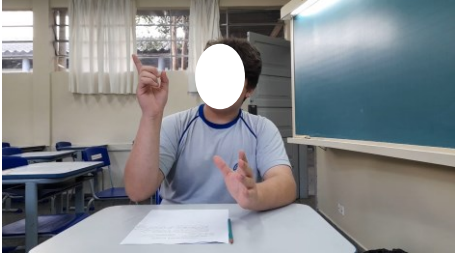
E16: É. Aquele arco laranja que é a energia que se espalha. Você disse um nome. Como é?

P: Halo?

E16: Isso. Faz um halo. A energia. Pra todos os lados. Como uma explosão.

Por fim, a análise combinada entre a transcrição da expressão verbal com os gestos apresentados pelo estudante E16 (Figura 43), é mais uma evidência da atuação do mecanismo cognitivo hipercultural na construção de um modelo mental dinâmico.

Figura 43 - I. (a) Dedo indicador próximo ao dedo polegar descrevendo o caráter particular do elemento em discussão; (b) Pontas dos dedos das mãos juntas e uma mão se afastando da outra descrevendo a liberação de partículas na fusão nuclear; (c) dedo indicador da mão direita descrevendo a trajetória da partícula liberada pela fusão nuclear. II. Verbalização da explicação do fenômeno.

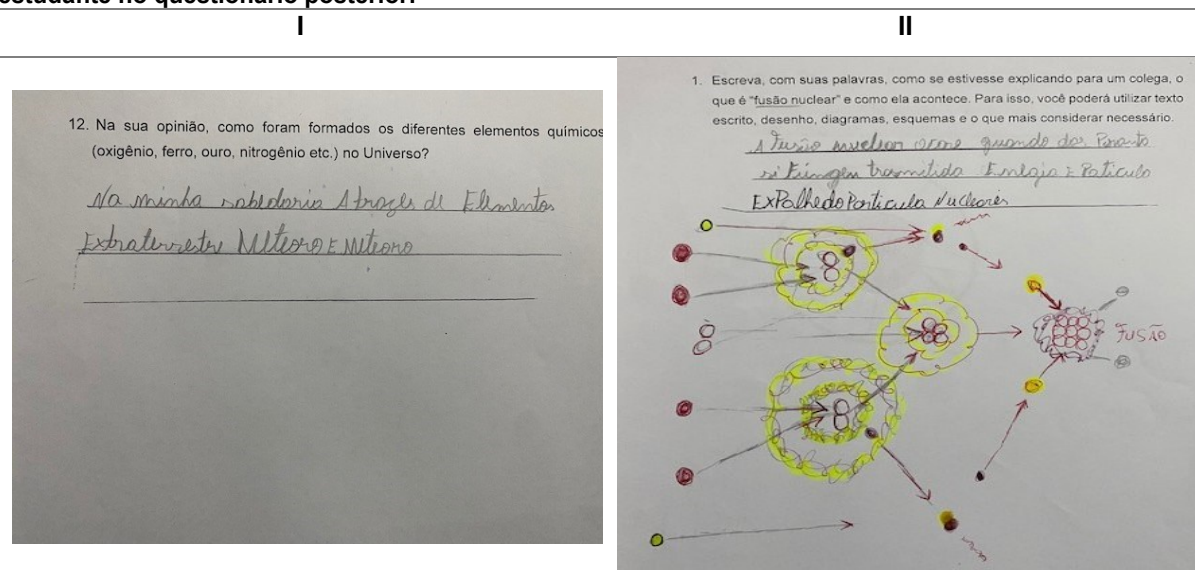
| I | II |
|--|---|
| <p>(a) </p> | <p>P: E, além da energia, é liberada mais alguma coisa?</p> <p>E16: Libera partícula. Tipo no Sol. No Sol, tipo ele faz bilhões de fusões por segundos. E libera partículas tipo assim que saem dos prótons e essas partículas colidem com outras. E tem a luz que vem do Sol que é partícula que escapa.</p> |
| <p>(b) </p> | |
| <p>(c) </p> | |

Fonte: Autoria própria (2022).

Os questionários inicial e posterior do estudante E17 trazem evidências da mudança no comportamento cognitivo após os processos de interação com os artefatos digitais. Na figura 44 I, antes da mediação digital, o estudante demonstra apoiar-se em estruturas cognitivas estabelecidas pelas mediações social e cultural. Nessa etapa, não há na estrutura interna do estudante uma representação mental concordante com o conhecimento científico acerca da formação dos elementos

químicos. Após a mediação por interfaces virtuais (figura 44 II), o estudante fundamenta seu modelo mental a partir da utilização do *driver* hipercultural, uma vez que os elementos presentes em sua representação gráfica são associados às interfaces virtuais utilizadas.

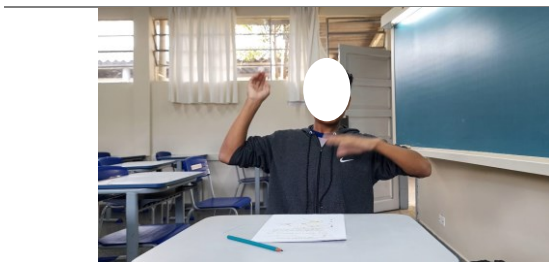
Figura 44 - I. Representação gráfica do estudante no questionário inicial. II. Representação gráfica do estudante no questionário posterior.



Fonte: Autoria própria (2022).

O estudante E17 apresenta em sua entrevista a evidência da utilização do *driver* hipercultural na construção de sua representação mental sobre o conceito de fusão nuclear. A combinação da transcrição verbal com os gestos apresentados pelo estudante (Figura 45), corroboram com o indício de um modelo mental do tipo temporal, isto é, a ordem temporal dos eventos está fundamentada numa sequência de quadros rodados em uma ordem temporal correspondente.

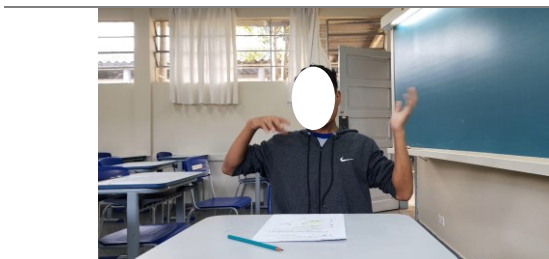
Figura 45 - I. Movimentação rápida das mãos para os lados como analogia ao comportamento das partículas sob ação do calor no interior do Sol. II. Verbalização da explicação do fenômeno.



P: Você pode me explicar o que é fusão nuclear?

E17: Fusão nuclear, pra mim, é... uma coisa... é... como é que fala?...

P: Pode usar as palavras que você achar mais fáceis pra você.



E17: Fusão, através dos prótons, acontece aproximação ali, eles vão se juntando ali, aí ocorre a fusão. Aí vai a luz, é.. transmite a luz, e várias partículas.

P: Beleza, você disse que elas se aproximam...

7E17: Isso, se aproximam e faz a fusão.

P: Ok. Mas, pra elas se aproximarem, como elas têm que estar? Como é o estado delas?

E17: Elas, elas, ficavam muito movimentadas. Se movimentando pra todo lado. Porque elas têm muita energia. Daí elas ficam agitadas assim.

Fonte: Autoria própria (2022).

Percebe-se que o estudante faz uma relação entre a movimentação das partículas e a quantidade de energia que elas contêm. Essa relação coincide com as observações realizadas nos simuladores virtuais. Para além, o estudante também estabelece relações de causalidade entre a massa do núcleo atômico e a quantidade de movimento realizado por ele. No trecho em destaque a seguir, observa-se evidências factuais da utilização do mecanismo cognitivo hipercultural na estruturação das respostas.

P: E quando elas [partículas] colidem, vão formar elementos mais pesados, ou mais leves?

E17: Quando elas se juntam, vão formar partículas maiores, mais pesadas, mais massa.

P: E quando essas partículas são formadas, elas, essas que foram formadas, vão se movimentar do mesmo jeito que antes?

E17: Não.

P: Por que?

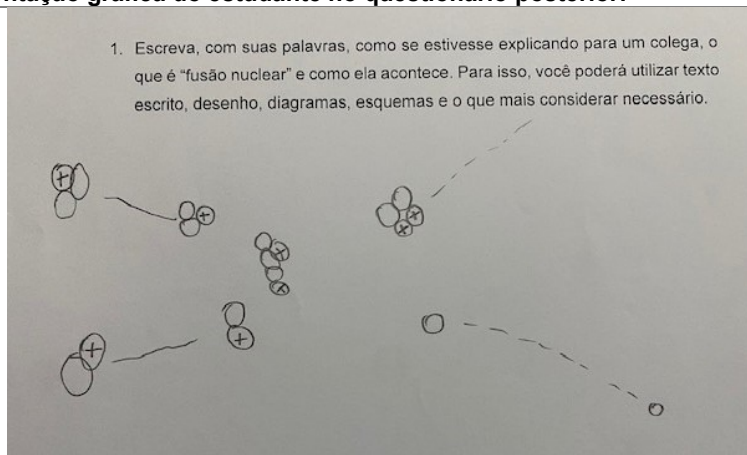
E17: Igual no vídeo, no computador, lá. Elas vão ter mais massa, daí vai mais devagar. Lá mostrou elas indo devagar depois que juntou. É por causa da massa.

P: É liberado alguma coisa quando elas colidem, fundem?

E17: Sim. Um arco de energia e umas bolinhas que eu acho que é partícula que sai. No segundo [simulador de fusão] saiu mais bolinhas e luz. É uma explosão pra todos os lados.

O estudante E18 participou apenas das duas últimas aulas da sequência didática. Ao responder à questão sobre o conceito de fusão nuclear do questionário posterior (figura 46), o estudante constrói uma representação gráfica semelhante às interfaces virtuais utilizadas nas aulas. Esse dado confirma a utilização do *driver* hipercultural como mecanismo cognitivo estrutural para a explicação do conceito de fusão nuclear.

Figura 46 - Representação gráfica do estudante no questionário posterior.



Fonte: Autoria própria (2022).

Durante a entrevista individual, quando inquirido sobre o conceito de fusão nuclear, o estudante fez referência direta ao observado nos simuladores virtuais. A transcrição a seguir, apresenta a outra evidência da utilização do *driver* hipercultural na construção de sua representação mental sobre o evento analisado.

P: O que você estava pensando enquanto respondia: o que é fusão nuclear?

E18: Eu acho que é, tipo, que tem aquele, que apareceu no simulador, que a parte de baixo, as bolinhas de cima e as de baixo, né. E quando, é, acho que tinha três em cima e duas em baixo. Daí quando elas se juntavam, dava um círculo vermelho assim, e como tinha mais em cada uma, os dois mais se juntavam e ia pra lá e uma sozinha ia pra cá.

P: Então quando elas batiam uma na outra, liberava...

E18: Um círculo de energia e outra bolinha.

P: Energia?

E18: Sim.

P: E tem uma direção específica?

E18: Não. Ía pra qualquer lado.

P: Aquele elemento que se formou, depois que bateram, ele ficou com massa igual a antes?

E18: Não, ele ficou mais pesado, mais massa.

P: Entendi. Tem mais alguma coisa que você estava pensando quando respondeu e eu não perguntei aqui?

E18: Não. Eu respondi o que eu vi no simulador lá.

Percebe-se que o estudante apresenta um modelo mental do tipo temporal, ou seja, descreve o fenômeno conforme apresentado pela interface digital: uma sequência de quadros espaciais que ocorre em uma ordem temporal relativa à ordem temporal dos eventos. As relações de transformações e causalidades podem ter sido obliteradas pela ausência do estudante nas discussões anteriores.

Os estudantes E04, E05, E07 e E14 não apresentaram, na entrevista, dados suficientes para evidenciar o uso de algum mecanismo cognitivo, no leque de possibilidades de mediação descritos pela TMC, ou estabelecer qual tipo de modelo mental foi construído relacionado ao conceito de fusão nuclear, objeto em análise. A estudante E06 solicitou a saída da pesquisa por razões pessoais.

7 HIBRIDAÇÃO COGNITIVA: LEITURA DOS RESULTADOS A PARTIR DA ANTROPOLOGIA SIMÉTRICA LATOURIANA

A discussão e análise dos dados coletados, no capítulo anterior, forneceu a matéria-prima para a construção do cerzimento teórico proposto por esta pesquisa a fim de evidenciar o caráter híbrido da atividade cognitiva em sala de aula mediada por dispositivos não humanos. Importante destacar que, em sua obra, Bruno Latour não considerou a simetria de análise da questão cognitiva em si, tampouco nos contextos educacionais de ensino-aprendizagem, o que reforça o caráter original desta pesquisa. Neste capítulo, buscaremos, portanto, desenhar as conexões, os desvios e as continuidades dos programas de ação que constituem as redes do ensino de ciências mediado por tecnologias digitais de informação e comunicação (TIC), assumindo a concepção latouriana no desenvolvimento cognitivo dos humanos envolvidos na pesquisa. Para tanto, optamos por organizar esta etapa em duas seções: 1) Mecanismo cognitivo enquanto modo de existência híbrido; e 2) A atividade pedagógica com uso de TIC enquanto mediadora técnica.

7.1 MECANISMOS COGNITIVOS ENQUANTO MODO DE EXISTÊNCIA HÍBRIDO

Os Modernos, segundo Latour, condicionaram as existências às ontologias isoladas e com fronteiras bem marcadas. Nesta pesquisa, se adotássemos a visão Moderna, estabeleceríamos a separação ontológica entre estudante, professor, escola, fato científico e tecnologias de informação e comunicação (TIC), isto é, persistiríamos na dicotomia sociedade-natureza. Nesse sentido, se permanecermos nesse plano e extrapolarmos a teoria latouriana, “notaremos que a maioria das tensões resultam do fato de que, para julgar a veracidade de um modo, usamos as condições de veridicção de outro modo” (LATOUR, 2019, p. 27). Isto é, o resultado será o obscurecimento dos eventos e dos seres das interfases, do que Latour chama de Império do Meio, induzindo a avaliação do desempenho dos atores do processo educacional de forma pontualizada no espaço e no tempo, atribuindo a ação à competências das ontologias purificadas. A escolha por romper as marcações que

delimitam os actantes no processo ensino-aprendizagem mediado por TIC, dá o carácter de originalidade do trabalho realizado.

Assim, uma consequência significativa do abandono da ruptura ontológica entre humanos e não-humanos é a concepção da existência condicionada à pluralidade de intersecções entre os diferentes actantes, reunidos em um quase-sujeito ou em um quase-objeto. Dessa forma, não há como compreender a caixa-preta que se forma no processo interacional entre estudante-TIC sem, após alistar todos os actantes, fazer emergir o que conecta, o que faz fazer, o ponto de afluência entre as redes identificadas.

Destarte, Latour (2019b), argumenta sobre o modo de existência como rede e, para isso, toma o significado de rede como aquilo que “designa uma *série de associações* revelada por meio de uma prova [...] que permite compreender por quais séries de pequenas *descontinuidades* convém *passar* para obter certa *continuidade* de ação” (LATOURE, 2019b, p. 39). Dessa forma, a tradução é entendida como a articulação de uma fenda entre dois cursos de ação que permite a sua continuidade e, que ao mesmo tempo, faz emergir um modo de existência novo, um híbrido. Segundo Latour,

A continuidade do curso de ação [...] não estaria garantida sem pequenas interrupções, pequenos hiatos cuja lista cada vez mais longa a etnografia não cessa de elaborar. Digamos que se trata de um **passé** particular (como se diz em jogos de bola) e que consiste, para uma entidade qualquer, em passar *por outra* por intermédio de um passo, um salto, um limiar no curso habitual das coisas (LATOURE, 2019b, p. 40).

Importante enfatizar aqui, que nesse trabalho realizamos a transposição da análise simétrica de Latour para o processo ensino-aprendizagem mediado por TIC. Dessa forma, temos o processo de aprendizagem do conceito de fusão nuclear como a associação de dois cursos de ação que, pelo carácter interacional da construção do conhecimento, apresenta uma interrupção em seu curso, visto a intangibilidade sensorial do fenômeno (figura 47). Nesse quadro, tem-se uma *outra* entidade capaz de estabelecer um *passé* que, ao firmar conexão entre os cursos iniciais, modifica os originais, isto é, modifica tanto o estudante em sua estrutura cognitiva, quanto o conceito que passa a compor uma rede diversa.

Figura 47 - Interrupção causada pela não tangibilidade do fenômeno físico no processo ensino-aprendizagem.



Fonte: Autoria própria (2022).

O que argumentamos é que o salto necessário para superar a interrupção descrita acima pode ocorrer ao se fazer uma associação com uma TIC, mais especificamente com simuladores virtuais, tendo em vista que, de acordo com o previsto na TMC e demonstrado na análise dos resultados da seção anterior, a emergência de *drivers* hiperculturais devido ao uso de simuladores e a evidências de aprendizagem relacionadas, credenciam as TIC para tanto, na visão proposta por Latour. Entretanto, ao alistar mais esse actante, alteramos a própria essência da rede da aprendizagem, uma vez que condicionamos a sua existência à composição heterogênea de elementos humanos e não humanos, isto é, à “instalação de um conjunto heterogêneo dos elementos necessários à circulação” (LATOURE, 2019, p. 38).

Isto posto, se a continuidade do processo de aprendizagem é obtida pelas passagens nas discontinuidades dos cursos de ação dos actantes alistados (estudante-TIC-conceito de fusão nuclear), o resultado desse movimento produz híbridos particulares responsáveis pelos saltos, cujo objetivo é manter o fluxo, o movimento da rede da aprendizagem.

Na antropologia simétrica latouriana, essa região de conexão entre os diversos actantes é denominada de zona metamórfica, uma vez que há a mudança do desempenho dos agentes para a competência dos híbridos (LATOURE, 2014). A partir dessa chave de interpretação, argumentamos que a manutenção do fluxo de continuidades dos cursos de ação do processo de aprendizagem das propriedades físicas da fusão nuclear, com o alistamento de simuladores virtuais constitui uma zona metamórfica em que a produção do híbrido cognitivo compartilha competências humanas e não humanas.

O diálogo a seguir, registrado durante a interação dos estudantes com o simulador virtual sobre propriedade dos gases, com o objetivo de entender o comportamento das partículas atômicas sob ação do calor, discutido na seção anterior, mostra o cruzamento dos cursos de ação estudante-conceito científico a partir da associação de um novo actante (simulador virtual) que modifica a estrutura cognitiva do estudante, que se torna capaz de representar mentalmente o fenômeno simulado.

P: O que tá acontecendo aí?

E00: Tá ficando mais quente.

P: O que o calor está fazendo com as partículas.

E00: Faz elas ficar mais agitadas.

P: Tá, beleza. E quanto mais calor, o que acontece?

E00: Mais agitadas elas ficam.

P: E o que é calor, então?

E00: Elas se mexem bastante por causa do calor, então é o que faz elas se agitarem.

P: Observe bem o comportamento delas. O que acontece se você parar de fornecer calor. Ela para instantaneamente?

E00: Não.

P: Por que?

E00: Porque ela recebeu calor. Tá nela agora.

E00: Porque ela não esfria rápido. Demora um pouco.

Nota-se que os argumentos utilizados pelos estudantes fazem referência direta ao observado no *layout* computacional. Assim, a explicação dada para o que seria o calor “... *é o que faz elas se agitarem*” e a previsão do fenômeno quando uma variável é alterada (cessar o fornecimento de calor) “*Não*”, “*Porque ela recebeu calor. Tá nela agora*”, “*Porque ela não esfria rápido. Demora um pouco*”, são evidências de que um modelo mental foi construído e está “rodando” internamente de forma análoga ao objeto virtual. Como discutido nas seções anteriores, de acordo com a Teoria da Mediação Cognitiva em Rede (TMC), o mecanismo interno capaz de conectar o artefato digital ao processamento interno do cérebro humano, ou na linguagem latouriana, aquilo capaz de dar continuidade à uma série de discontinuidades, é o *driver* hipercultural.

Nesse sentido, admitimos que o *driver* cognitivo previsto na TMC caracteriza-se como um ser particular, um quase-objeto na perspectiva latouriana, o que, por sua vez, torna-se o modo de existência necessário para o alistamento de actantes não humanos no processo ensino-aprendizagem do conceito abstrato de fusão nuclear.

Ou seja, o *driver* hipercultural preenche a lacuna causada pela interrupção na aprendizagem devido à não tangibilidade sensorial do conceito de fusão nuclear.

Ao propor a TMC, Campello de Souza (2004) não considerou a análise de um fenômeno interacional entre um indivíduo e um artefato em uma situação hermética. Nas palavras dele, “trata-se de um fenômeno muito mais amplo, que engloba a noção de uma ecologia cognitiva ativa, composta por inúmeros elementos processadores de informação dinamicamente interligados sob a forma de redes complexas” (CAMPELLO DE SOUZA, 2004, p. 130). Ainda, a concepção do conceito de mediação não pode ser tomada como simples interação sujeito-objeto em um meato isolado, mas como a utilização de componentes extracerebrais disponíveis no ambiente como alicerce cognitivo (CAMPELLO DE SOUZA, 2004).

Extrapolando a simetria generalizada de Latour para os contextos cognitivos no coletivo educacional e a TMC para a antropologia simétrica, defendemos que o movimento de hibridação do processo de mediação pode ser observado a partir de alguns pressupostos gerais da TMC: 1) o cérebro humano é um dispositivo computacional limitado; 2) um conjunto de elementos físicos funcionalmente interligados é capaz de processamento de informações; 3) os humanos complementam o seu processamento cerebral a partir de estruturas externas (CAMPELLO DE SOUZA, 2006). Nesta perspectiva, o conhecimento é obtido a partir da interação com os não humanos e sua capacidade de fornecer processamento extracerebral. Para que isso ocorra, é inevitável a construção de mecanismos mentais internos que viabilizem a interação (CAMPELLO DE SOUZA, 2004; 2006). Tais são os mecanismos internos denominados *drivers* extracerebrais (WOLFF, 2015).

Esse cruzamento teórico resulta no entendimento da atividade interacional própria do processo ensino-aprendizagem como um sistema reticular de cognição. Portanto, a cognição do estudante não pode ser avaliada de forma circunscrita às propriedades da mente, “mas da mente-matéria, de um híbrido coletivo, social e heterogêneo, isto é, sociotécnico instável” (CARDOSO, 2015, p. 253).

Dessa forma, os *drivers* extracerebrais são os seres construídos nas mediações, nas articulações de cursos de ação e, na linguagem latouriana, podem ser classificados como ser-enquanto-outro que permuta, recruta e mobiliza outros elementos (simulador virtual, estudante, conceito de fusão nuclear) e que possuem um estatuto ontológico próprio, que nos tornam capazes de *fazer fazer* alguma coisa,

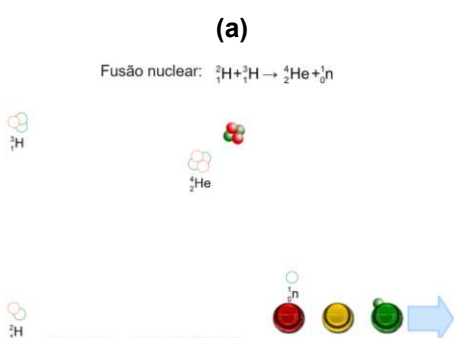
no caso específico desta pesquisa, construir uma representação mental a partir da associação de diferentes elementos. São, portanto,

seres cuja continuidade, o prolongamento, a extensão se pagariam com suficientes incertezas, descontinuidades e inquietudes para que continue sendo visível que sua instauração poderia falhar se não se conseguir entendê-los segundo sua chave de interpretação, segundo o enigma próprio que colocam àqueles sobre os quais pesam; seres que sempre erguem, inquietos, em um cruzamento de caminhos (LATOUR, 2019b, p. 138).

A ideia de que o *driver* hipercultural seja o ser construído na mediação entre cursos de ação na sala de aula, só tem sentido quando entendido como a interfase na conexão entre o estudante e o dispositivo computacional. As representações mentais, construídas a partir do agenciamento desse novo ser, configuram-se como sistemas heterogêneos vinculados às arquiteturas reticulares cognitivas, isto é, existem como redes onde o *driver* hipercultural é o híbrido que conecta, que salta o hiato das descontinuidades entre o abstrato e a sua modelização.

As evidências encontradas desse mecanismo mostram as construções das representações mentais dos estudantes com origem na representação gráfica dos simuladores virtuais utilizados. De acordo com a TMC, o funcionamento desse mecanismo híbrido ocorre mesmo na ausência do artefato digital. Como exemplo de evidência discutida no capítulo anterior, a comparação da descrição da representação mental do estudante, obtida na entrevista individual, com o *layout* do simulador virtual na figura 48, recorrente na seção de análise anterior, indica a participação desse novo ser, o quase-objeto, capaz de *fazer* a estrutura cognitiva *fazer* rodar um modelo mental do fenômeno simulado.

Figura 48 - Comparativo entre a descrição verbal do estudante com o *layout* do simulador virtual.

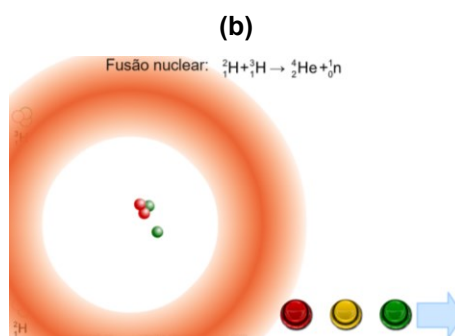
| Diálogo | Layout do simulador virtual |
|---|---|
| <p>P: E libera mais alguma coisa?</p> <p>E03: Na maioria das vezes uma partícula sai.</p> <p>P: Uma partícula é liberada?</p> <p>E03: Sim.</p> <p>P: Aquele que se juntou, ele forma um novo elemento?</p> <p>E03: Sim. <u>O hélio</u> (a).</p> | <p>(a)</p> <p>Fusão nuclear: ${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_0\text{n}$</p>  |

P: E o hélio é diferente em que do átomo anterior da colisão?

E03: É mais pesado.

P: E a energia e as partículas liberadas, elas vão pra algum lugar específico quando são liberadas?

E03: Não. Sai pra todo lado. Tem um arco de energia que cresce em volta (b).



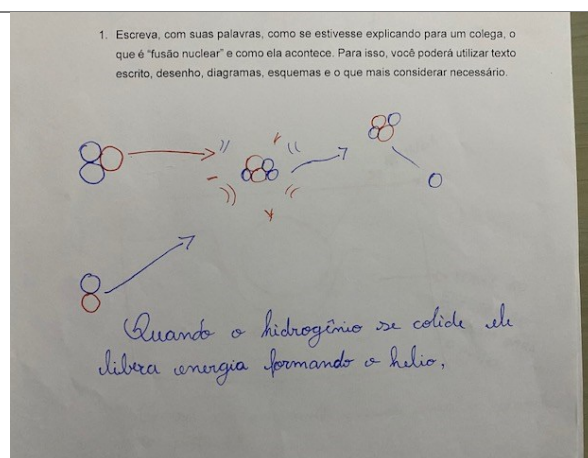
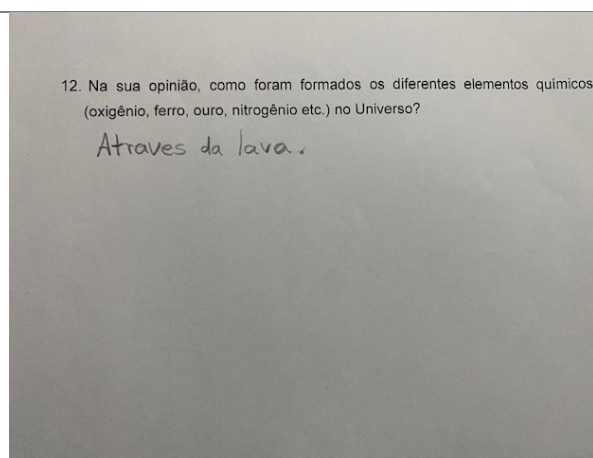
Fonte: Autoria própria (2022).

Em mais um exemplo do que foi discutido na seção anterior, a mesma evidência foi encontrada na análise dos questionários (inicial e posterior) em que a mudança na estrutura cognitiva do estudante pode ser observada a partir da comparação entre a resposta inicial e a resposta após a interação com os artefatos digitais. Na figura 49, observa-se que inicialmente não havia uma representação mental coerente com o estabelecido pelo coletivo da ciência sobre a origem de elementos químicos mais massivos. Na sequência, o estudante descreve seu modelo mental com características análogas à dinâmica computacional dos simuladores virtuais.

Figura 49 - Comparativo das representações mentais do estudante antes e após a mediação digital.

Resposta antes da mediação digital

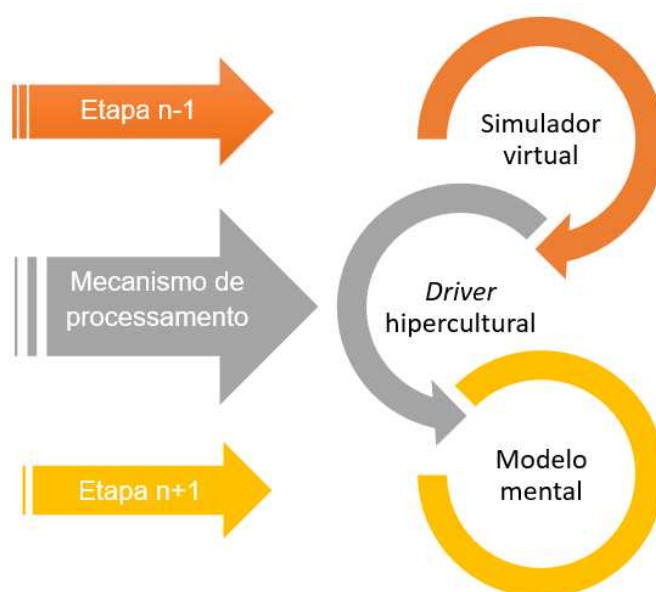
Resposta posterior à mediação digital



Fonte: Autoria própria (2022).

Sendo, portanto, os *drivers* extracerebrais produtos do processo de mediação entre humano e não-humano, um salto no hiato entre cursos de ação, quando são analisados a partir da perspectiva latouriana é possível admiti-los como seres instituídos por redes de produção de interioridades, isto é, híbridos de elementos de processamentos internos e externos da mediação cerebral. Para além, reforçando o argumento apresentado, a identificação desses híbridos (quase-objetos) só é possível quando descrito o entrelaçamento do curso de ação n-1 que o precede (simulador virtual) com o curso n+1 (representação mental do fenômeno estudado) que o sucede (figura 50).

Figura 50 - Entrelaçamento de cursos de ação na produção de híbridos.



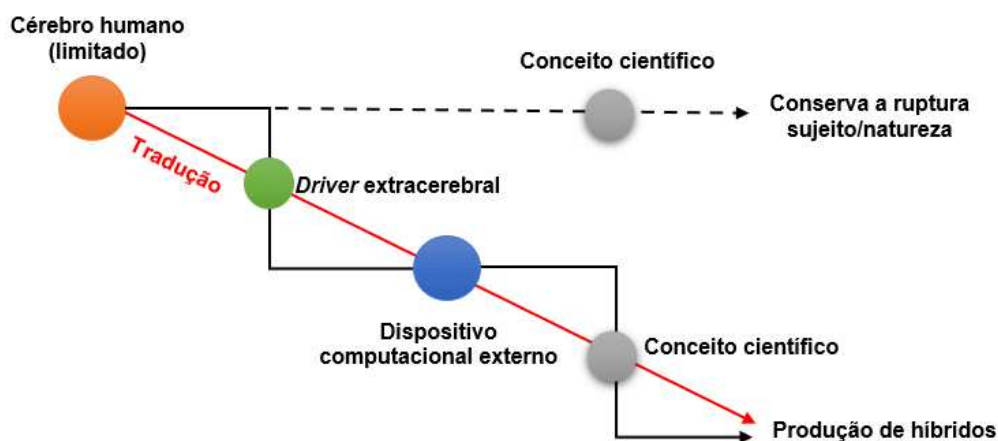
Fonte: Autoria própria (2022).

Entretanto, é importante destacar que a associação das etapas acima deve ser interpretada a partir de sua irredutibilidade, isto é, cada etapa é, em si, um conjunto de etapas anteriores e posteriores, como os modelos mentais prévios dos estudantes, a intangibilidade sensorial do fenômeno, a aplicação do conhecimento e outras redes.

Deste modo, a descrição da rede possibilita o recolhimento de um número bastante grande de indícios sobre o aparato necessário para sua produção. Além

disso, essa descrição permite a observação de que a ausência de qualquer um dos actantes alistados e/ou das mediações entre os cursos de ação impossibilita a produção desses novos seres (LATOOUR, 2019a; 2019b), conforme a Figura 51.

Figura 51 - Produção de híbridos na mediação digital.



Fonte: Autoria própria (2020).

Assim, na concepção dicotômica dos Modernos (sujeito-natureza) este modo de existência seria impossível de se detectar, pois não está ligado diretamente a um dos polos ontológicos modernizados ou, como argumentaremos mais a frente, sua existência, quando admitida, será julgada como pontualizada no espaço e no tempo, como fruto de um determinismo social ou tecnológico. Em outras palavras, a partir da análise simétrica latouriana, os *drivers*, enquanto seres híbridos, possuem certa invisibilidade quando contrastados com objetos do mundo visível dos Modernos. Entretanto, ao interpretarmos esses híbridos, isto é, os *drivers* cognitivos a partir dessa perspectiva, assumimos as palavras de Latour:

a invisibilidade dessas entidades não é irracional, sobrenatural ou misteriosa; ela provém de sua forma precisa de articulação: *estes seres são tomados por outra coisa porque eles se tomam por outros e nos tomam por outros*, nos dando assim os meios *para nos transformar em outros*, para nos desviarmos das nossas trajetórias, para inovar, criar (LATOOUR, 2019b, p. 172).

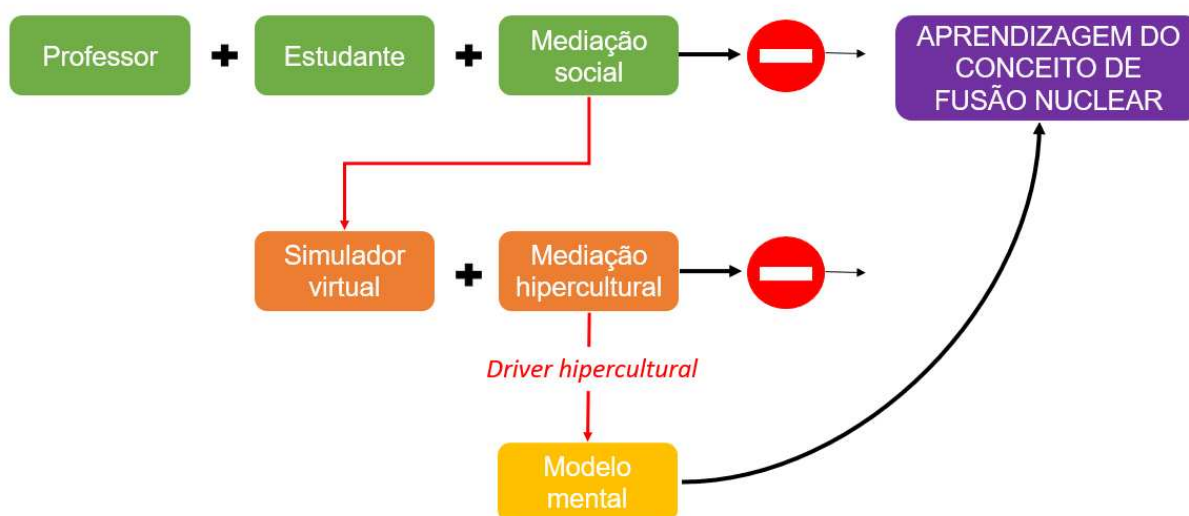
Ao colocarmos luz na interação de actantes humanos e não-humanos, na construção de estruturas de processamento de informações exteriores à matéria

humana, evidenciamos a complexa trama de interligações que, de modo compulsório só é possível a partir da consideração de diferentes modos de existência, o que mais uma vez impõe o abandono da concepção moderna de ruptura ontológica sujeito-natureza. Toda e qualquer situação está intimamente ligada à sua rede de proposições que dão significado à sua existência. Mais uma vez, transpondo as palavras de Latour para o escopo desse estudo, temos que

A **essência** de uma situação, por assim dizer, será [...] a lista dos outros seres pelos quais é conveniente passar para que esta situação dure, se prolongue, se mantenha ou se estenda. *Traçar uma rede* é sempre reconstituir por uma **prova** [...] os antecedentes e consequentes, ou, para dizer ainda de outra forma, os precursores e os herdeiros, a integralidade de um ser. Ou, para falar mais filosoficamente, os *outros* pelos quais se deve passar para se tornar ou permanecer o *mesmo* – o que pressupõe [...] que não se pode simplesmente “permanecer o mesmo” de alguma forma “sem fazer nada”. Para permanecer, é conveniente *passar* – em todo caso, “passar por” – o que se chama uma **tradução** (LATOURE, 2019b, p. 46, grifos do autor).

Na figura 52, descrevemos o *driver* hipercultural como modo de existência do tipo rede, associado aos diferentes actantes alistados. Nota-se que, sua existência só é possível a partir da exploração de outros modos (humanos, mediação social, artefato digital, representação mental). O *driver* hipercultural existe como ponto de passagem obrigatória, em um desvio necessário para a construção de uma representação mental do conceito abstrato de fusão nuclear coerente com o construído pelo coletivo científico.

Figura 52 - *Driver* hipercultural existindo enquanto associação de cursos de ação.



Importante salientar que a instauração dos *drivers* extracerebrais ocorre mediante a interação humano-não humano (no caso deste estudo, estudante -TIC). É a partir da mediação digital que a hibridação do processo ensino-aprendizagem pode ser observada sob a interposição das teorias de base deste estudo.

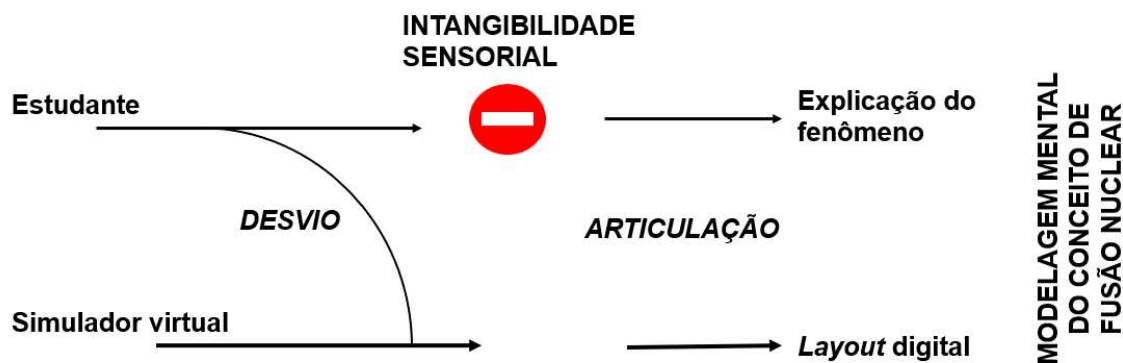
7.2 A ATIVIDADE PEDAGÓGICA COM USO DE TIC ENQUANTO MEDIADORA TÉCNICA

A análise sob a perspectiva da antropologia simétrica do ensino-aprendizagem mediado pelas Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) mostra que este processo é intrinsecamente um híbrido. Em *A Esperança de Pandora*, Latour (2017) propõe significados complementares para a mediação técnica. Mais uma vez, é importante lembrar o leitor de que, nos estudos antropológicos da atividade científica feitos por Latour, o cerne das discussões é a produção dos fatos e da realidade científica. Aqui, neste trabalho, a originalidade está na extrapolação da teoria latouriana para a *atividade cognitiva em si* dentro do contexto ensino-aprendizagem de ciências da natureza, àquela responsável pela compreensão dos diferentes híbridos construídos pelos coletivos da ciência, especialmente os relacionados ao conceito de fusão nuclear.

Neste contexto, examinaremos inicialmente o cruzamento dos diferentes actantes alistados no coletivo da sala de aula do ensino fundamental a partir do entrelaçamento entre humanos e não humanos, sob os significados latourianos de mediação técnica.

Ao desconsiderar as fronteiras ontológicas entre sujeito e natureza, humano e não humano, podemos considerar o primeiro significado de mediação técnica de Latour, a saber, estruturado nas ideias de interferência (desvio) e translação, transportando a permutação de objetivos entre uma tecnologia de informação e comunicação (TIC), nesta pesquisa um simulador virtual de fusão nuclear, e um estudante de ciências. Reconhecemos que a articulação entre os actantes desse processo constituirá um novo ser, isto é, neste caso o próprio processo de aprendizagem do conceito de fusão nuclear será um híbrido latouriano (Figura 53).

Figura 53 - Mudança da natureza do significado a partir da articulação entre cognição e computação extracerebral.



Fonte: Adaptado de Latour (2001, p. 215).

No caso em tela, a interrupção também se dá pela natureza do fenômeno (fusão nuclear) não ser sensorial, como no caso da mecânica newtoniana e a sua visão antropomórfica de corpos (geralmente representados por blocos) em contato e forças através de vetores (“flechas”, para os estudantes). Por não haver representação sensorial para o fenômeno da fusão nuclear, há uma interrupção no processo de ensino-aprendizagem, centrado no estudante, uma vez que não possui elementos internos suficientes para a construção de uma representação mental do fenômeno (figura 53). A associação com a TIC (simulador de fusão nuclear), com a consequente articulação e tradução, nas definições de Latour (2017), permite chegar ao novo objetivo comum (translação), isto é, a modelagem cognitiva da natureza. Nesse caso, “a responsabilidade pela ação deve ser dividida entre os vários atuantes” (LATOUR, 2017, p. 214), ou seja, a análise não deve partir das essências dos actantes (estudante e TIC), mas da essência do novo híbrido (estudante-TIC ou TIC-estudante), que só passa a existir a partir da mediação entre eles.

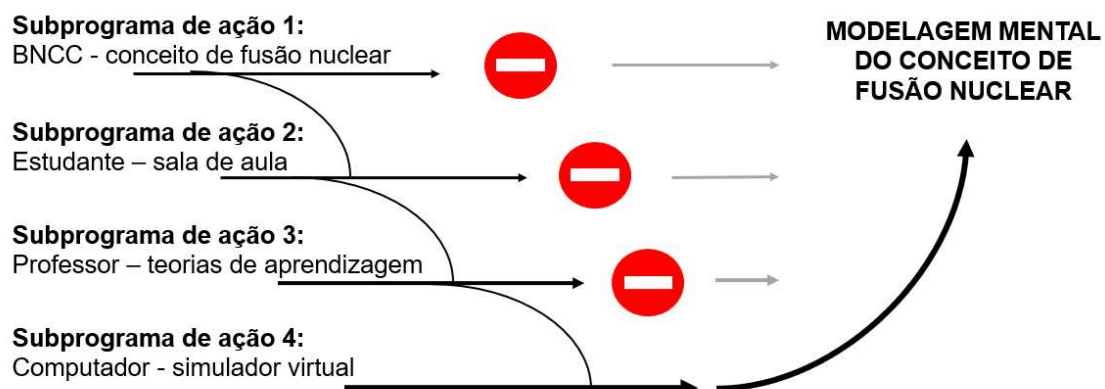
No entanto, a interação, de forma isolada, entre o estudante e o simulador virtual não constitui um híbrido coerente com o conjecturado para o processo ensino-aprendizagem de ciências da natureza. Caso assim seja, o híbrido estudante-TIC ou TIC-estudante pode abrir espaços para a construção de redes de concepções alternativas ou pós-verdades, conforme discutido em Zanatta e Saavedra Filho (2020), relativas aos conceitos estabelecidos pelos coletivos científicos, visto que os estudantes são irredutíveis em si mesmos, o que pressupõe redes já estabelecidas

que podem ser alteradas em relação às redes dos coletivos das ciências por meio de traduções e/ou translações de objetivos distintos. É, pois, nesse ponto, que concordamos com Angotti (2015) ao definir o professor como sujeito epistêmico essencial no processo ensino-aprendizagem mediado por TIC. No caso desta pesquisa, o professor é compreendido como o actante que *representa* a rede da ciência. Isso nos leva ao segundo significado de mediação técnica de Latour: a composição.

Ao alistar os diferentes atuantes da ação pedagógica mediada por TIC (BNCC; estudante; professor; computador; simulador virtual; conceito de fusão nuclear; sala de aula; conjuntos simbólicos) comprovamos a *ação da aprendizagem* não como “uma propriedade de humanos, *mas de uma associação de atuantes*” (LATOIR, 2017, p. 216). No caso, procura-se evidenciar ainda mais o caráter híbrido dessas formas de mediação. Há um conjunto de atuantes, humanos e não-humanos, que através de sucessivos desvios e sucessivas composições, chegam ao objetivo composto.

À vista disso, a representação mental do conceito de fusão nuclear, previsto na Base Nacional Comum Curricular (BNCC) para o ensino de ciências para o nono ano do ensino fundamental, dentro do objeto de conhecimento “evolução estelar”, por se tratar de um evento intangível pelos órgãos sensoriais, torna-se possível a partir da composição de diferentes agentes humanos e não humanos. Na figura 54, descrevemos como a composição desses agentes converge para alcançar a construção de um modelo mental coerente com o estabelecido pelo coletivo científico. Consideramos, ainda, que esse segundo significado não pode ser negligenciado quando se intenta compreender os sucessos e insucessos da aprendizagem de conceitos das ciências, uma vez que o híbrido construído pode apresentar lacunas conceituais quando um ou mais actantes apresentam-se incompletos, incompreendidos ou descontextualizados.

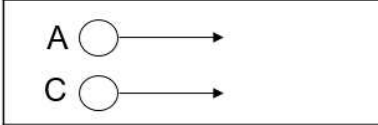
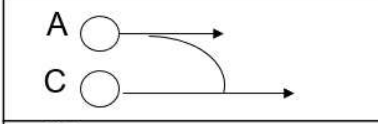
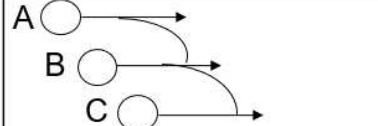
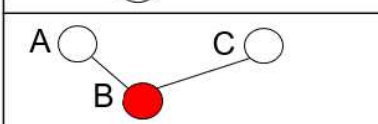
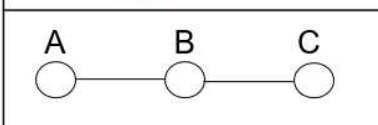
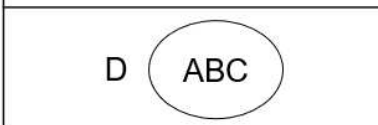

Figura 54- Articulação de subprogramas na composição de um objetivo.



Fonte: Autoria própria (2022).

Para que esse processo não esteja sujeito ao obscurecimento, isto é, para que a produção conjunta do novo objetivo compósito não seja tomada como uma ação de agência única, Latour propõe o terceiro significado de mediação técnica: o entrelaçamento de tempo e espaço. A figura 55 apresenta as possibilidades de compreensão da construção das representações mentais dos estudantes durante a sequência didática a partir dos conceitos de mediação técnica de Latour (2017).

Figura 55 - Composições técnicas entre os atuantes da rede sociotécnica.

| | | |
|---|---|---|
|  | Passo 1: desinteresse | Humanos e não humanos antes do cruzamento das redes |
|  | Passo 2: interesse (interrupção, desvio, aliciamento) | Simulador virtual, estudante |
|  | Passo 3: composição de um novo objeto | BNCC, conceito de fusão nuclear, estudante, <i>driver</i> hipercultural, professor, simulador virtual |
|  | Passo 4: ponto de passagem obrigatória | <i>Driver</i> hipercultural |
|  | Passo 5: alinhamento | Estudante-professor-simulador |
|  | Passo 6: obscurecimento | Estudante-simulador |
|  | Passo 7: pontualização | Representação mental |

Fonte: Adaptado de Latour (2001, p. 212).

Quando as representações mentais do conceito de fusão nuclear construídas pelos estudantes são consideradas isoladas, isto é, pontualizadas no espaço e no tempo, elas podem ser entendidas como caixas-pretas, invisibilizando os movimentos de mediação ocorridos nas suas construções (ver passo 7 da figura 55). Sob essa perspectiva, o simulador virtual agencia a configuração do modelo mental estabelecido. Trata-se, portanto, do estabelecimento da fronteira ontológica que Latour tenta dissolver, o que pode caracterizar, neste caso, o determinismo tecnológico na ação pedagógica. Caso a representação mental construída não esteja coerente com o conceito estabelecido pelo coletivo da ciência, isto é, por razões relativas à irreduzibilidade das redes iniciais (estudante, TIC, professor, conceito de fusão nuclear) e/ou o não estabelecimento do *pas*se particular no hiato entre o estudante e o conceito de fusão nuclear, uma crise pedagógica se instaura e o aspecto cognitivo revela-se como compósito de vários agentes (passo 6 da figura 55). Nesse

ponto, o movimento de análise sobe e outros agentes emergem, no alinhamento que constitui a interação estudante-professor-simulador (passo 5 da figura 55). Subindo o curso da análise, tem-se que para a existência desse alinhamento ocorra é necessário o salto dos hiatos entre os actantes, ou seja, um ponto de passagem obrigatória (passo 4 da figura 55). É exatamente o híbrido construído nessa mediação que essa pesquisa faz revelar: os mecanismos internos de cognição dos dados processados de forma extracerebral, ou seja, os *drivers* (conforme descrito na subseção anterior).

O ponto B do passo 4 da figura 55 representa esse novo ser, o *driver* hipercultural, que torna capaz o cruzamento das redes que constituem os actantes alistados. Os resultados das análises evidenciaram a participação desse mecanismo cognitivo na construção de representações mentais coerentes com as redes estabelecidas pelo coletivo científico sobre o conceito de fusão nuclear, isto é, ocorreu uma tradução dos objetivos dos estudantes (aprendizagem) para os objetivos da aula (ensino do conceito de fusão nuclear). Essas evidências podem ser encontradas nas afirmações coletadas dos estudantes durante a entrevista individual:

“Na hora que clicava bem na hora que juntava, saiu uma energia vermelha em volta. E umas bolinhas menores também” (E01);

“Sai pra todo lado. Tem um arco de energia que cresce em volta” (E03);

“Se a gente colocar calor, elas se agitam mais. Igual aquele simulador de colocar calor. Se coloca mais calor as partículas ficavam loucas, agitadas” (E10);

“Eu lembro que foi o programa das bolinhas. Eu vi que elas se juntavam porque estavam agitadas e quando elas batiam, elas explodiam e saía aquele negócio vermelho” (E12);

“Fusão Nuclear? É quando os átomos, ou aquelas bolinhas ali que apareceram no vídeo, é, estão num calor muito grande e elas se chocam, e viram um só” (E13);

“Igual no vídeo, no computador, lá. Elas vão ter mais massa, daí vai mais devagar. Lá mostrou elas indo devagar depois que juntou. É por causa da massa” (E17).

Essas afirmações indicam que a origem das representações mentais construídas foi atribuída ao mecanismo cognitivo hipercultural.

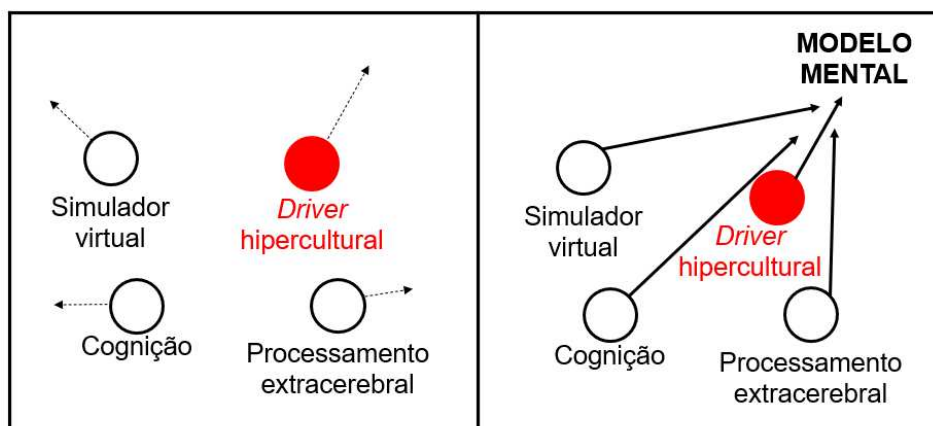
O outro conceito de mediação técnica descrito por Latour é o da delegação. Neste caso, a introdução de um novo agente em um programa de ação estabelecido previamente implica na translação de objetivos e significados. Entretanto, aqui, a

técnica é entendida como ação modificadora não somente da forma, mas da própria natureza da nossa expressão. Nas palavras de Latour (2017), “a substância da expressão modificou-se ao longo do caminho” (LATOURE, 2017, p. 222). Para os objetivos dessa pesquisa, admitimos que a interação estudante-TIC também pode ser analisada sob a ótica da delegação técnica. Assim, temos a expressão conceitual do estudante sobre fusão nuclear substancialmente modificada a partir da interação com os simuladores virtuais.

A descrição do fenômeno de fusão nuclear revelado pelo modelo mental, desloca o estudante de forma espacial (retorna ao *layout* digital do simulador, agora ausente), temporal (volta às aulas anteriores com interação entre estudante-TIC) e atorialmente ao estabelecer as bases da cognição no *driver* hipercultural. Alinhado à teoria latouriana, o que fica é um simulador virtual ausente, um mecanismo cognitivo hipercultural em seu lugar e uma representação mental de caráter intrinsecamente híbrido entre humano e não humano.

O apagamento da rede heterogênea que constitui o modelo mental do estudante invisibiliza a delegação técnica do *driver* hipercultural. Destarte, argumentamos, portanto, que a transposição da fronteira entre signos e fenômeno foi construída a partir da delegação técnica do mecanismo cognitivo hipercultural, uma vez que foi dado a ele uma capacidade de agência que altera o funcionamento da estrutura cognitiva do estudante. A figura 56 mostra o *driver* hipercultural recrutando os diferentes elementos para uma determinada ação, no caso, a modelagem mental do conceito de fusão nuclear.

Figura 56 - Delegação como recrutamento de ações do *driver* hipercultural.



Fonte: Adaptado de Cardoso (2015, p.252).

Delegar, nesse contexto, “implica estender a ação a outro actante, comprometendo-se e confiando no seu funcionamento” (LEMOS, 2013, p. 128-129). Argumentamos, portanto, que o simulador virtual delega ao *driver* hipercultural a proposição de ação na estruturação dos modelos mentais sobre o fenômeno da fusão nuclear.

Assim, a mediação técnica desloca entidades cujas propriedades, espaços e tempos se entrecruzam e constroem um novo actante, um modelo mental. Na linguagem latouriana, de forma alguma podemos argumentar que os modelos mentais existem como caráter exclusivamente humano sem considerar àquilo que os autoriza e capacita a existir, a saber, o *driver* hipercultural e o simulador virtual. Os estudantes se tornam, portanto, uma instituição reticular, um quase-objeto ou um quase-sujeito.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa procurou investigar a construção de mecanismos híbridos de cognição entre humanos e não humanos durante o ensino-aprendizagem do conceito de fusão nuclear mediado por simuladores virtuais com estudantes do 9º ano do ensino fundamental.

Para alcançar esse objetivo, construímos uma sequência didática que possibilitou um cenário de interação constante entre estudantes (humano) e tecnologias digitais de informação e comunicação (TIC) (não humanos), além das interações estudante-estudante e estudante-professor. Dessa forma, os desdobramentos da pesquisa convergiram para a utilização de mecanismos externos de mediação cognitiva, direcionados para o conceito de fusão nuclear, no propósito de construção de representações mentais fundamentadas nesses mecanismos e expressas de forma coerente com o conhecimento científico.

Inicialmente, os dados foram analisados sob a perspectiva da Teoria da Mediação Cognitiva em Rede (TMC) para identificar e avaliar os mecanismos cognitivos utilizados durante a construção de representações mentais sobre o conceito de fusão nuclear. Além disso, as representações mentais identificadas foram classificadas de acordo com a Teoria dos Modelos Mentais. Essas teorias permitiram estabelecer a ocorrência da aprendizagem conceitual, visto que são construções acerca das capacidades cognitivas de apreender o mundo a partir de processos interacionais.

Sobre esse aspecto, a pesquisa evidenciou que, inicialmente, os estudantes apresentavam conhecimentos prévios sobre estrutura atômica firmados, principalmente, em mecanismos cognitivos de caráter social e cultural, de acordo com o descrito pela TMC. Isso ocorre porque as representações iniciais continham elementos referentes às interações em grupo (dinâmica cotidiana de sala de aula) e de sistemas simbólicos, como os livros didáticos e paradidáticos. Além disso, ficou evidente que nenhum estudante conseguiu expressar, inicialmente, uma representação mental para o conceito de fusão nuclear. Assim, podemos afirmar que as representações mentais desse conceito, identificadas ao longo da pesquisa, foram todas construídas durante a sequência didática aplicada.

Nesse sentido, o simulador virtual sobre o comportamento das partículas sob ação da pressão e da temperatura, participou ativamente na produção de dinamicidade nas representações mentais construídas. Isto porque, a partir do aumento da energia cinética das partículas, foi possível relacionar a quantidade de calor com a intensidade das colisões entre elas. Ainda, os estudantes relacionaram, também, a ocorrência desse fenômeno com a dinâmica das partículas no Sol. Essa é uma evidência bastante robusta de que ocorreu a aprendizagem conceitual, uma vez que a representação mental é coerente com o conhecimento científico estabelecido.

A partir da configuração da aula de forma articulada com mecanismos compostos de mediação externa, a pesquisa encontrou evidências da utilização dos diferentes tipos de mecanismos cognitivos combinados para construção de uma representação mental. Isso pode ser observado durante a combinação da interação entre estudante-professor, estudante-TIC e estudante-modelo didático na abordagem do conceito de deformação do tecido espaço-tempo e suas implicações na dinâmica das partículas. Nesse ponto, foram identificados os *drivers* psicofísico, social, cultural e hipercultural. Nesse sentido, a associação de diferentes mecanismos de mediação contribuiu para a elaboração de representações mentais mais sofisticadas em relação às iniciais.

Com os resultados combinados dos questionários inicial e posterior foi possível avaliar a aprendizagem conceitual do fenômeno abordado. Com base nos dados desses instrumentos, observou-se que as representações pictóricas posteriores ao processo de mediação digital apresentaram ganhos substanciais na sofisticação das explicações e no possível dinamismo das representações internas dos estudantes. Além disso, ficou evidente a utilização do *driver* hipercultural nas construções gráficas dos estudantes, uma vez que a disposição dos elementos pictóricos correspondia aos *layouts* dos simuladores virtuais manipulados.

Com relação aos dados coletados nas entrevistas individuais, além de o protocolo *Report Aloud* se apresentar como uma valiosa ferramenta de coleta de dados, concordando com a literatura acadêmica, a combinação dos gestos descritivos com as expressões verbais dos estudantes deixou evidente a utilização do *driver* hipercultural na sustentação dos modelos mentais construídos. Modelos estes que, com as análises realizadas, se mostraram mais elaborados, tanto em seus conteúdos quanto em suas dinâmicas, após a mediação dos simuladores virtuais. Com base nos resultados, pode-se afirmar que os modelos mentais construídos sob a égide do *driver*

hipercultural, são coerentes com o conhecimento científico estabelecido o que caracteriza, mais uma vez, a aprendizagem conceitual do fenômeno físico estudado.

A partir da leitura dos resultados da pesquisa sob a ótica não moderna da antropologia simétrica, a mediação por TIC no processo ensino-aprendizagem ganha uma nova interpretação. Em face do que foi exposto, caminhamos para as considerações acerca dessa interpretação.

As TIC são, em geral, entendidas como intermediários, quando, na verdade, são mediadores, pois operam modificações na sua correspondência com outros actantes, isto é, são entidades que alteram o curso de dados na rede de aprendizagem de ciências da natureza. Em outras palavras, as TIC modificam a forma de representar internamente o fenômeno físico abordado, o que configura numa alteração da própria estrutura cognitiva do estudante. A originalidade desse estudo reside, principalmente, na extrapolação da antropologia simétrica latouriana para os aspectos cognitivos dos humanos. A pesquisa evidenciou que a estrutura cognitiva dos estudantes é modificada a partir da associação com os não-humanos do processo interativo. Logo, podemos afirmar que a cognição humana não é uma propriedade exclusivamente humana, mas um híbrido mente-matéria.

O trabalho da mediação com as TIC, no pensamento latouriano, corresponde, dessa forma, a um acoplamento, uma vinculação que altera a rede de proposições da sala de aula de ciências da natureza. Esse processo de mediação produz o *driver* hipercultural, o híbrido que, por estimular a dinamicidade das representações internas, tornam-se mecanismos de *fazer fazer* conexões anteriormente inexistentes, substanciando seu caráter transformador da rede, uma vez que atribui plasticidade na contextualização do conceito apreendido ao invés da sua cristalização como aprendizagem memorística.

Nesse sentido, a continuidade do curso de ação do ensino-aprendizagem é possibilitada pela produção do *driver* cognitivo, porquanto se estabelece a fluidez do processo e não as rupturas em ontologias dicotômicas. Por esse motivo, entendemos que a própria aprendizagem não pode ser tomada como elemento estanque no tempo e no espaço, mas como um *continuum*, uma expansão das redes iniciais a partir do cruzamento com redes diversas.

O resultado da pesquisa pode ser arregimentado, também, para reforçar a tese de que os *drivers* cognitivos emergem como actantes híbridos uma vez que são definidos pelos efeitos de suas ações, isto é, na construção de representações

mentais a partir de informações extracerebrais. Desse modo, eles produzem efeitos nas redes associadas, modificando-as quando permitem a contextualização do conceito representado mentalmente e sendo modificados quando estabelecem conexões com outras formas de mediação. No entanto, suas ações só serão descritas se os seus movimentos forem acompanhados, planejados.

A fluidez tensionada pela antropologia simétrica permite interpretar os atores associados no processo ensino aprendizagem mediado por TIC como híbridos quase-sujeitos ou quase-objetos, pois, após a tradução causada pelos desvios nos cursos de ação, esses passam a compartilhar competências humanas e não humanas. Além disso, podemos argumentar que, a realidade educacional existe enquanto acoplamento de proposições. Em outras palavras, a realidade *ensino-aprendizagem do conceito de fusão nuclear* existe, nos moldes metodológicos desta pesquisa, se e somente se os cursos de ação envolvidos estiverem associados, isto é, o *driver* cognitivo existe a partir da associação da estrutura cognitiva (humano) com o *layout* computacional (não humano) com a linguagem do professor (humano) com o aparelho de computador (não humano) com o conceito de fusão nuclear (humano-não humano) com o prédio da escola (não humano) com rede mundial de computadores (não humano).

Ainda sob os pressupostos do pensamento latouriano, defendemos que os resultados desta pesquisa não podem ser tomados a partir de uma perspectiva materialista, onde os actantes não humanos, as TIC, agem em virtude de componentes materiais irredutíveis às propriedades humanas. Isso levaria a um entendimento determinista da tecnologia digital sobre o humano. Entretanto, as alterações cognitivas, isto é, a produção dos *drivers* cognitivos não podem ser tomadas como ação exclusivamente humana a partir de um artefato (TIC) como uma ferramenta ou um veículo neutro para a vontade humana. Partir dessa perspectiva, leva à compreensão de um determinismo social em que as TIC consistiriam apenas no meio de aceleração do ato de aprender, isto é, a aprendizagem nesse contexto torna-se ação exclusivamente humana.

A associação das teorias realizada nessa pesquisa permite argumentar que a aprendizagem do conceito de fusão nuclear a partir da mediação por simuladores virtuais não é uma propriedade exclusivamente humana. Aprendizagem, nesse contexto, significa um amálgama de propriedades humanas e propriedades não humanas constituindo um novo ser: o híbrido. O *driver* cognitivo é um híbrido, pois é

produto da mediação cognitiva; o conceito de fusão nuclear na sala de aula é um híbrido pois é traduzido para a rede do estudante, visto que o estudante o contextualiza com seus objetivos; o estudante é um híbrido, pois existe enquanto associação com os demais actantes do processo de mediação.

O reconhecimento da hibridação cognitiva e do processo ensino-aprendizagem nos autoriza argumentar que, para entender a aprendizagem de conceitos das ciências da natureza, especialmente àqueles inacessíveis pelos órgãos dos sentidos, precisamos rastrear como ela é produzida pelas redes de práticas sociais e materiais, a partir dos desvios, das traduções e das mediações. Na perspectiva não moderna, são essas práticas que geram as representações internas que estabelecem a apreensão do mundo, em outras palavras, são elas que são performativas.

Essas questões, além de responder a pergunta de pesquisa desse trabalho, corroboram com a nossa tese. Podemos, portanto, a partir dos resultados enunciar a tese: a mediação digital no processo ensino-aprendizagem de conceitos não sensoriais da Física Moderna altera a estrutura cognitiva dos estudantes influenciando na construção das representações mentais e, a partir da análise simétrica latouriana, tanto as representações mentais construídas quanto o processo de ensino-aprendizagem mediado por tecnologias digitais constituem-se em um *continuum*, em híbridos de humanos e não-humanos, pois há troca de propriedades mútuas entre os actantes arregimentados durante o processo.

Dessa forma, defendemos que ao admitir a não transcendência da Natureza e a não imanência da Sociedade podemos superar a interpretação Moderna de objetividade, neutralidade e positividade do conhecimento científico em sala de aula de ciências além de libertar os actantes não-humanos da passividade no processo ensino-aprendizagem.

A pesquisa também evidenciou que, sendo o conceito de fusão nuclear um conceito não tangível sensorialmente, a participação de actantes não humanos na composição do processo ensino-aprendizagem torna-se essencial, uma vez que permite a extrapolação da descrição na forma de linguagem escrita para a construção de representações mentais dinâmicas e mais sofisticadas em relação à disposição e forma dos elementos que as constituem.

Isto posto, acreditamos que uma importante contribuição deste estudo para o âmbito do ensino de ciências da natureza seja a articulação de teorias distintas e

interdisciplinares que, ao ser adotada para esta pesquisa, permitiu uma nova interpretação do processo ensino-aprendizagem mediado por tecnologias digitais, assunto esse amplamente discutido na literatura acadêmica de forma dicotômica entre os elementos investigados, ou seja, avaliando potencialidades e limites de artefatos ou metodologias de ensino. Inversamente, apresentamos esse processo como híbrido, onde o movimento da aprendizagem tem primazia sobre o conceito aprendido ou o humano que aprendeu. Mais uma vez, afirmamos que o estudante, o conceito de fusão nuclear, os simuladores virtuais, a interação social do professor são, todos, um *continuum*. Ainda, apesar de não ser o objetivo desta tese, o deslocamento dos processos analisados para o Império do Meio, pode tornar oportuna a abertura à ressignificações dentro da rede que os sustentam, o que os tornam adaptáveis aos contextos distintos, locais e não locais, de formação de professores, realidades escolares e dos estudantes, princípios da educação crítica e emancipatória.

Por fim, com base no que foi apresentado, muitas questões foram suscitadas e que ainda não puderam ser investigadas, tais como: a consideração da aprendizagem como um híbrido implica em novas formas de avaliação da aprendizagem escolar? Se as TIC modificam e são modificadas nos processos de mediação e na produção de híbridos, como devem ser discutidas a sua implementação na educação básica? Qual o papel das políticas públicas de inserção de TIC na educação básica na produção de estudantes híbridos? Quais as implicações da formação do professor para atuar como mediador representante da rede da ciência na sala de aula a partir de uma concepção simétrica? Ainda há muito a ser pesquisado, mas acreditamos que a tese que apresentamos contribui para ampliar o entendimento das questões relacionadas ao ensino-aprendizagem de ciências da natureza mediado por TIC.

REFERÊNCIAS

- ANDRIOLA, Wagner Bandeira. Inteligência, aprendizagem e rendimento escolar segundo a Teoria Triárquica da Inteligência (TTI). **Educação em Debate**, ano 20, n. 35, p. 75-80, 1998.
- ANGOTTI, José André Peres. **Ensino de Física com TDIC**. 1 ed. Florianópolis: UFSC/EAD/CFM/CED, 2015. *E-book*. Disponível em https://ppgect.ufsc.br/files/2016/01/Ensino_FSC_TDIC_1215.pdf. Acesso em: 17 dez. 2019.
- ANJOS, Juliana Rodrigues dos; ANDRADE NETO, Agostinho Serrano. Espectrofotômetro de baixo custo: uma proposta para o ensino de ciências. **Revista Valore**, v. 6, Edição Especial, p. 1042-1056, 2021a.
- ANJOS, Juliana Rodrigues dos; ANDRADE NETO, Agostinho Serrano. Uma estratégia para o ensino de cinemática em nível fundamental: atividades lúdicas e linguagem de programação. **ACTIO: Docência em Ciências**, v. 6, n. 3, p. 1-23, 2021b.
- ARAUJO, Ives Solano; VEIT, Eliane Angela. Uma revisão da literatura sobre estudos relativos a tecnologias computacionais no ensino de física. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 4, n. 3, p. 5-18, 2011.
- ARNTZ, Arnoud. A plea for more attention to mental representations. **Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry**, v. 67, p. 1-11, 2020.
- ASSUNÇÃO, Thiago Vicente de; NASCIMENTO, Robson Raabi do. Alfabetização científica e a academia: um olhar sobre o ensino de Física Moderna e Contemporânea na educação básica. **Revista de Ensino de Ciências e Matemática**, São Paulo, v. 10, n. 3, p. 1-17, 2019.
- BARBOSA, C. D.; SOARES, N. N.; CHAGAS, M. L. das; FERREIRA, F. C. L. O uso de simuladores via *smartphone* no ensino de ciência como ferramenta pedagógica na abordagem de conteúdos contextualizados de Física. **Scientia Plena**, Aracaju, v. 13, n. 1, p. 1-13, 2017.
- BARCELLOS, Marcília. Ciência não autoritária em tempos de pós-verdade. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 37, n. 3, p. 1496-1525, 2020.
- BARCELLOS, Marcília; GUERRA, Andreia. Inovação curricular e Física Moderna: da prescrição à prática. **Revista Ensaio**, Belo Horizonte, v. 17, n. 2, p. 329-350, maio/ago. 2015.
- BARDIN, L. **Análise de Conteúdo**. São Paulo: Edições 70, 2011.
- BARDUCHI, Ana Lúcia Jankovic. As concepções de desenvolvimento e aprendizagem na teoria psicogenética de Jean Piaget. **Movimento & Percepção**, v. 4, n. 4/5, p. 13-17, 2004.

BASSALO, José Maria F.; FARIAS, Robson Fernandes de. Clausius: pequena história da entropia. **Revista Brasileira de Ensino de Química**, v. 10, n. 2, p. 95-100, 2015.

BATISTA DA SILVA, João; SALES, Gilvandenys Leite; CASTRO, Juscileide Braga de. Gamificação como estratégia de aprendizagem ativa no ensino de Física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 41, n. 4, p. 1-9, 2019.

BATISTA, Carlos Alexandre dos Santos; SIQUEIRA, Maxwell. A inserção da Física Moderna e Contemporânea em ambientes reais de sala de aula: uma sequência de ensino-aprendizagem sobre a radioatividade. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 34, n. 3, p. 880-902, dez. 2017.

BERTO, Angela Barros Fonseca. A matematização da natureza e o desenraizamento do homem. **Revista Perspectivas Online**, v. 1, n. 3, p. 18-26, 2007.

BORGES, A. Tarciso. Como evoluem os modelos mentais. **Revista Ensaio**, Belo Horizonte, v. 1, n. 1, p. 66-92, jan./jun. 1999.

BORGES, A. Tarciso. Um estudo de modelos mentais. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 2, n. 3, p. 207-226, 1997.

BOTTENTUIT JUNIOR, João Batista; CARVALHO, Hernani Veloso de; CHAHINI, Thelma Helena Costa. Educação básica e o uso das tecnologias digitais: percepções e perspectivas. **Educere et Educare Revista de Educação**, v. II, n. 22, 2016.

BRAGA, Eliete; SOUSA JÚNIOR, Arlindo; LIMA, Viviani; OLIVEIRA, Cleber. Simulações virtuais: seu desempenho e suas contribuições no ensino e aprendizagem no conteúdo de Soluções. Anais do II Congresso sobre Tecnologias na educação (Ctrl+E 2017), Mamanguape, 2017.

BRASIL. **Base Nacional Curricular Comum**. Brasília, DF: Ministério da Educação, 2017. Disponível em: http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_versaofinal_sit_e.pdf. Acesso em 24 abril 2020.

BRASIL. Diretrizes Curriculares Nacionais Gerais da Educação Básica/ Ministério da Educação. Secretária de Educação Básica. Diretoria de Currículos e Educação Integral. – Brasília: MEC, SEB, DICEI, 2013.

BRASIL. Lei nº 13.005, de 25 de junho de 2014. Plano Nacional de Educação. Brasília, 2014.

BRASIL. Lei nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996. Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional. Brasília, 1996.

BRASIL. **Constituição (1988)**. Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília: Senado Federal: Centro Gráfico, 1988.

BRASIL. MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO (MEC). COORDENAÇÃO DE APERFEIÇOAMENTO DE PESSOAL DE NÍVEL SUPERIOR (Capes). 2015. Portal de Periódicos Capes/MEC: Institucional. Disponível em: https://www-periodicos-capes-gov-br.ez1.periodicos.capes.gov.br/index.php?option=com_pinstitutional&Itemid=104. Acesso em: 21 jan. 2021.

BRÊTAS, José Roberto da Silva; SANTOS, Filadelfo Queiroz. Aspectos da Teoria Piagetiana: da Biologia à Cognição. **Acta Paul. Enf.**, v. 15, n. 3, p. 87-96, 2002.

BRITO, Alan Alves; MASSONI, Neusa Teresinha. **Astrofísica para a educação básica**: a origem dos elementos químicos no universo. Curitiba: Appris, 2019.

BROCKINGTON, Guilherme; PIETROCOLA, Mauricio. Serão as regras de transposição didática aplicáveis aos conceitos de Física Moderna?. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 10, n. 3, p. 387-404, 2005.

BROCKINGTON, Guilherme. Neurociência e Ensino de Física: limites e possibilidades em um campo inexplorado. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 43, suppl. 1, 2021.

BRYNJOLFSSON, E.; McAFEE, A. (2011). **Race against the machine: how the digital revolution is accelerating innovation, driving productivity, and irreversibly transforming employment and the economy**. Lexington, Mass.: Digital Frontier Press. Disponível em: <http://b1ca250e5ed661ccf2f1-da4c182123f5956a3d22aa43eb816232.r10.cf1.rackcdn.com/contentItem-5422867-40675649-ew37tmdujwhnj-or.pdf>. Acesso em: 25 de julho de 2019.

BUSATTO, Cassiano Zolet; SILVA, Júpter Cirílio da Roza; PANSERA JUNIOR, Neclito; PÉREZ, Carlos Ariel Samudio. O ensino de Física Moderna e Contemporânea na educação básica: conteúdos trabalhados pelos docentes. **Revista CIATEC-UPF**, v.10, n. 1, p. 104-115, 2018.

CAMPELLO DE SOUZA, B.; SILVA, A. S.; SILVA, A. M.; ROAZZI, A.; CARRILHO, S. L. S.. Putting the Cognitive Mediation Networks Theory to the test: Evaluation of a framework for understanding the digital age. **Computers in Human Behavior**, Quebec, v. 7, p. 10.1016, 2012.

CAMPELLO DE SOUZA, Bruno. A teoria da mediação cognitiva. In: MEIRA, L.; SPINILLO, A. (Org.). **Psicologia Cognitiva**: cultura, desenvolvimento e aprendizagem. Recife: Editora UFPE, 2006.

CAMPELLO DE SOUZA, Bruno. **A Teoria da Mediação Cognitiva**: os impactos cognitivos da hipercultura e da mediação digital. Orientador: Antonio Roazzi. 2004. 282f. Tese (Doutorado em Psicologia), Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2004.

CAMPELLO DE SOUZA, Bruno; ROAZZI, Antonio; SOUZA, Jaélison Rodrigues de; PAULA, Sílvio Luiz de. Videogames comerciais e seu potencial para a educação

superior: um estudo com 347 alunos brasileiros de graduação em administração. **Acta Scientiae**, Canoas, v. 21, n. 1, p. 116-138, jan./fev. 2019.

CAMPELLO DE SOUZA, Bruno; SILVA, Alexandre Stamford da; SILVA, Auristela Maria da; ROAZZI, Antonio; CARRILHO, Silvana Lúcia da Silva. Putting the Cognitive Mediation Networks Theory to the test: Evaluation of a framework for understanding the digital age. **Computers in Human Behavior**, v. 28, p. 2320-2330, 2012.

CAMPOS, B. S.; FERNANDES, S. A.; RAGNI, A. C. P. B.; SOUZA, N. F. Física para crianças: abordando conceitos físicos a partir de situações-problemas. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 34, n. 1, p. 1-15, 2012.

CAMPOS, Luis Antonio. **História da Psicologia**. Rio de Janeiro: SESES, 2016.

CAPPELLE, Vanessa; COUTINHO, Ângelo. Tornar-se fisiologista vegetal: potencialidades educacionais de uma controvérsia entre cientistas do século XIX sob o ponto de vista de Bruno Latour. **ALEXANDRIA Revista de Educação em Ciência e Tecnologia**, v. 8, n. 3, p. 181-205, 2015.

CARDOSO, Tarcísio de Sá. A epistemologia da mediação em Latour. Orientadora: Maria Lucia Santaella Braga. 2015. 284f. Tese (Doutorado em Tecnologias da Inteligência e Design Digital). Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo, 2015.

CARDOSO, Tarcísio de Sá. Ontologia dos híbridos na contrarrevolução copernicana de Bruno Latour. *In*: SANTAELLA, Lucia (Org.). **Desafios humanos no contemporâneo**. Barueri: Estação das Letras e Cores, 2018.

CARDOSO, Tarcísio de Sá; SANTAELLA, Lucia. A relevância da mediação no pensamento de Bruno Latour. *In*: ALZAMORA, Geane; ZILLER, Joana; COUTINHO, Francisco Ângelo (Orgs.). **Dossiê Bruno Latour**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2021.

CARVALHO, Arley; TELES, Ariel; VIANA, Davi; SILVA, Francisco José; COUTINHO, Luciano; TEIXEIRA, Silmar. Objetos Digitais de Aprendizagem no Ensino de Física Básica: um estudo de caso com simuladores virtuais em uma escola de ensino público estadual. **Revista Novas Tecnologias na Educação**, v. 17, n. 3, 2019.

CARVALHO, Solange. Ciência e Senso Comum: reflexões epistemológicas em busca da verdade. **Revista Ciência & Trópico**, v. 39, n. 2, p. 143-162, 2015.

CASTRO, Bruna Jamila; OLIVEIRA, Moisés Alves. Para além da dicotomia homem-natureza: a perspectiva não-moderna de Bruno Latour. **Revista Eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental**, v. 35, n. 2, p. 348-361, 2018.

CEDRAN, Débora Piai; KIOURANIS, Neide Maria Michellan. Teoria dos Campos Conceituais: visitando seus principais fundamentos e perspectivas para o ensino de ciências. **ACTIO Docência em Ciências**, v. 4, n. 1, p. 63-86, 2019.

CENTRO REGIONAL DE ESTUDOS PARA O DESENVOLVIMENTO DA SOCIEDADE DA INFORMAÇÃO CETIC. **TIC educação**. Disponível em: http://data.cetic.br/cetic/explore?idPesquisa=TIC_EDU. Acesso em 25 de julho de 2019.

CLEMENT, J. J.; STEPHENS, A. L. Documenting the use of expert scientific reasoning process by high school physics students. **Physics Education Research**, v. 6, n. 2, p. 20122–1-20122–15, 2010.

COLOMBO JUNIOR, Pedro Donizete; LOURENÇO, Ariane Baffa; SASSERON, Lúcia Helena; CARVALHO, Anna Maria Pessoa de. Ensino de física nos anos iniciais: análise da argumentação na resolução de uma “atividade de conhecimento físico”. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 17, n. 2, p. 489-507, 2012.

CORRÊA, T. A.; MARTINS, H. L.; MILLAN, R. N.; MARANGONI, A. C. Uma experiência didática através da ferramenta Stop Motion para o ensino de modelos atômicos. **HOLOS**, v. 6, 2020.

COSTA, Fabricio Carneiro; SOUZA, Isaac Teixeira de; SIMÕES NETO, José de Caldas. A utilização das tic's digitais nos processos de ensino e aprendizagem: uma revisão sistemática. **Brazilian Journal of Development**, São José dos Pinhais, v. 5, n. 6, p. 4458-4467, 2019.

CRESWELL, John W.; CLARK, Vicki L. Plano. **Pesquisa de métodos mistos**. Tradução: Magda França Lopes. Revisão técnica: Dirceu da Silva. 2 ed., Porto Alegre: Penso, 2013.

CURITIBA. **Escola Municipal Albert Schweitzer**: Projeto Pedagógico. Disponível em: <https://educacao.curitiba.pr.gov.br/conteudo/projeto-pedagogico-albert-schweitzer-escola-municipal/640>. Acesso em 23 de março de 2021.

D'AGOSTIN, Aline. Física Moderna e Contemporânea: com a palavra professores do Ensino Médio. Orientador: Nilson Marcos Dias Garcia. 2009. 112f. Dissertação (Mestrado em Educação), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

DELIZOICOV, Demétrio; ANGOTTI, José André; PERNAMBUCO, Marta Maria. **Ensino de Ciências**: Fundamentos e Métodos. 4 ed., São Paulo: Cortez, 2011.

DIONÍSIO, Paulo Henrique. Física Quântica: de sua pré-história à discussão sobre seu conteúdo essencial. **Cadernos IHU Ideias**, ano 2, n. 22, 2004.

DUARTE, Bruna Marques; ZANATTA, Shalimar Calegari. La Enseñanza de Conceptos de la Ciencia y Concepciones Alternativas en el Contexto de las Teorías Epistemológicas del Siglo XX. **Paradigma**, v. 37, n. 1, p. 26-45, 2016.

DUSEK, Val. **Filosofia da Tecnologia**. São Paulo: Edições Loyola, 2009.

ERROBIDART, Nádia Cristina Guimarães; GOBARA, Shirley Takeco; JARDIM, Maria Inês Affonseca; ERROBIDART, Hudson Azevedo; MARQUES, Simone

Machado. Modelos mentais e representações utilizadas por estudantes do ensino médio para explicar ondas. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 12, n. 3, p. 440-457, 2013.

ESPÍNDOLA, Marina Bazzo de; GIANNELLA, Taís Rabetti. Integração de tecnologias digitais de informação e comunicação no ensino de ciências: contribuições do modelo do Conhecimento Pedagógico-Tecnológico do Conteúdo. **Revista Educere Et Educare**, Cascavel, v. 14, n. 32, maio/ago. 2019.

ESPINOSA, Tobias; ARAUJO, Ives Solano; VEIT, Eliane Angela. Crenças de autoeficácia em aprender física e trabalhar colaborativamente: um estudo de caso com o método *Team-Based Learning* em uma disciplina de Física Básica. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, Ponta Grossa, v. 12, n. 1, p. 69-94, jan./abr. 2019.

ESTEVINHO, Lucia de Fátima Dinelli; CARVALHO, Daniela Franco. As setas nos livros didáticos de ciências e biologia: objetos híbridos?. **Ensaio Pedagógico**, v. 2, n. 3, p. 28-33, 2018.

EYSENCK, Michael W.; KEANE, Mark T. **Psicologia cognitiva**: um manual introdutório. Trad.: Wagner Gesser e Maria Helena Fenalti Gesser. Porto Alegre: Artes Médicas, 1994.

FEENBERG, Andrew. Do essencialismo ao construtivismo: a filosofia da tecnologia em uma encruzilhada. In: NEDER, Ricardo T. (org.). **A teoria crítica de Andrew Feenberg**: racionalização democrática, poder e tecnologia. Brasília: Observatório do Movimento pela Tecnologia Social na América Latina/CDS/UnB/Capes, 2010. p. 205-251.

FERREIRA, Érika Gomes Betetti; DAMASIO, Felipe; RODRIGUES, Adriano Antunes. Física Moderna e Contemporânea no ensino fundamental articuladas com conceitos de Física Clássica por meio de unidades de ensino potencialmente significativas (UEPS). **Aprendizagem Significativa em Revista/Meaningful Learning Review**, v. 4, n. 1, p. 29-40, 2014.

FERREIRA, Yan Pedro Ulrich Mendes; MACHADO, Alan Freitas; MOURA, Diego Barbosa; SILVA, Cláudio Elias da. O estudo da diferença de potencial (DDP) a partir de reação de oxirredução (pilha) e aplicação da modelagem e simulação computacional. **Revista SUSTINERE**, v. 4, n. 1, p. 61-81, 2016.

FOUREZ, Gérard. **A construção das ciências**: introdução à filosofia e à ética das ciências. Tradução: Luiz Paulo Rouanet. São Paulo: Editora da Universidade Estadual Paulista, 1995.

FREIRE, Leticia de Luna. A ciência em ação de Bruno Latour. **Cadernos IHU Ideias**, ano 11, n. 192, p. 1-17, 2013.

FREITAS FILHO, João Rufino de; MARQUES, Stefany Caroline S.; MELO, Rinnely Cecília Lins de; FREITAS, Jucleiton José Rufino de. Modelos mentais dos

estudantes do ensino médio e a química dos alimentos. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, v. 2, n. 3, p. 77-91, set./dez. 2009.

FREITAS, Savana dos Anjos; ANDRADE NETO, Agostinho Serrano de. A utilização do jogo AngryBirds Space na aprendizagem de conceitos de lançamento de projéteis e de gravidade no ensino fundamental: uma proposta de unidade de ensino potencialmente significativa. **Revista Brasileira de Ensino de Ciências e Matemática**, Passo Fundo, v. 1, n. 2, p. 214-225, jul./dez. 2018.

FREITAS, Savana dos Anjos; SERRANO, Agostinho. Um estudo da aprendizagem significativa do modelo do átomo de Bohr com estudantes do ensino fundamental: sequências didáticas sob a perspectiva da TMC baseada em UEPS. **Revista Valore**, v. 6, Edição Especial, p. 1680-1696, 2021.

FRÖHLICH, Aléxia Birck; MEGGIOLARO, Graciela Paz. Utilização do simulador PHET COLORADO para as aulas de química: produtos, reagentes e excessos. **Revista Triângulo**, v. 14, n. 3, p. 113-122, 2021.

GAMA, Maria Clara Sodrê Salgado. As teorias de Gardner e de Sternberg na Educação de Superdotados. **Revista Educação Especial**, v. 27, n. 50, p. 665-674, 2014.

GAMA JUNIOR, Rosivaldo Carvalho; NEIDE, Italo Gabriel; MOREIRA, Marco Antonio. Atividades experimentais e computacionais no ensino de física: uma revisão da literatura. **Revista Brasileira de Ensino de Ciências e Matemática**, v. 4, n. 1, p. 348-369, 2021.

GERMANO, Marcelo Gomes. **Uma nova ciência para um novo senso comum** [online]. Campina Grande: EDUEPB, 2011. Disponível em: <<https://static.scielo.org/scielobooks/qdy2w/pdf/germano-9788578791209.pdf>> Acesso em 10 maio 2020.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5 ed., São Paulo: Atlas, 2017.

GIUSTA, Agnela da Silva. Concepções de aprendizagem e práticas pedagógicas. **Educação em Revista**, v. 29, n. 01, p. 17-36, 2013.

GOMES, Fabiana; OLIVEIRA, Moisés Alves de. O manual do mundo: as derivas da educação química ciências. **ACTIO: Docência em Ciências**, v. 3, n. 1, p. 248-267, 2018.

GONÇALVES, Erica de Oliveira; BORGES, Martha Kaschny. Sob a cúpula das constelações: a Teoria Ator-Rede e o ensino de astronomia no planetário. **Revista Contrapontos**, v. 16, n. 3, p. 454-470, 2016.

GONÇALVES-MAIA, Raquel. **Ciência, Pós-ciência, Metaciência: Tradição, Inovação e Renovação**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2011.

GUEDES, Hideraldo Corbolin. **A aprendizagem significativa de física no 9º ano do ensino fundamental**: as relações de proporcionalidade como organizadores prévios. Orientador: Mário Sérgio Teixeira de Freitas. 2015. 125f. Dissertação (Mestrado em Educação Científica e Tecnológica), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

GUEDES, Josiel de Alencar. A crise da ciência moderna e a busca de uma superação. **Revista Geotemas**, v. 2, n. 2, p. 121-130, 2012.

GUILLERMO, Oscar Eduardo Patrón; TAROUCO, Liane Margarida Rockenbach; ENDRES, Luiz Augusto Magalhães. O poder das simulações no ensino de hidráulica. **Novas Tecnologias na Educação**, v. 3, n. 1, 2005.

HUNG, Elias Said; SARTORI, Ademilde Silveira; COBOS, Jorge Valencia; DIAZGRANADOS, Fernando Iriarte; MOREIRA, Patricia Justo; ORDOÑEZ, Mónica Patricia. **Fatores associados ao nível de uso das TIC como ferramentas de ensino e aprendizagem nas escolas públicas do Brasil e da Colômbia**. Barranquilla, Colômbia, Editorial Universidad Del Norte, 2015.

JOHNSON-LAIRD, Philip N.. **Mental Models**. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press, 1983.

JOHNSON-LAIRD, Philip N. Mental models and human reasoning. **PNAS**, v. 107, n. 43, p. 18243-18250, 2010.

JUSTINIANO, Artur; BRESSAN, Paulo Alexandre; SILVA, Eliza Maria; MORAES, Leandro Donizete; BOTELHO, Rafael. Astro3D: um simulador do movimento de corpos celestes. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 39, n. 4, 2017.

KNEUBIL, Fabiana Botelho. Explorando o CERN na física do Ensino Médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 35, n. 2, p. 2501-1-2501-10, 2013.

KUHN, Thomas S. **A estrutura das revoluções científicas**. 12 ed. São Paulo: Perspectiva, 2013.

KUMAR, Manjit. **Quantum: Einstein, Bohr, and the Great Debate About the Nature of Reality**. Londres: Icon Books, 2008.

LATOOUR, Bruno. **A esperança de Pandora**: ensaios sobre a realidade dos estudos científicos. Tradução: Gilson César Cardoso de Sousa. São Paulo: Editora Unesp, 2017.

LATOOUR, Bruno. **Ciência em Ação**: como seguir cientistas e engenheiros sociedade afora. São Paulo: Editora Unesp, 2011.

LATOOUR, Bruno. Do objects have history? A meeting between Pasteur and Whitehead in a lactic acid bath. **História, Ciências, Saúde Manguinhos**, v. 2, n. 1, p. 7-26, 1995.

LATOUR, Bruno. **Cogitamus**: seis cartas sobre as humanidades científicas. São Paulo: Editora 34, 2016.

LATOUR, Bruno. **Jamais Fomos Modernos**. São Paulo: Editora 34, 2019a.

LATOUR, Bruno. **Investigação sobre os modos de existência**: uma antropologia dos Modernos. Petrópolis, RJ: Vozes, 2019b.

LATOUR, Bruno. **Reassembling the Social**: an Introduction to Actor-Network Theory. New York: Oxford University Press Inc., 2005.

LATOUR, Bruno; WOOLGAR, Steve. **A vida de laboratório**: A produção dos fatos científicos. Tradução: Angela Ramalho Vianna. Rio de Janeiro: Relume Dumará, 1997.

LAW, John. Teoria ator-rede e semiótica material. *In*: ALZAMORA, Geane; ZILLER, Joana; COUTINHO, Francisco Ângelo (Orgs.). **Dossiê Bruno Latour**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2021.

LEITE, Werlayne Stuart Soares; RIBEIRO, Carlos Augusto do Nascimento. A inclusão das TICs na educação brasileira: problemas e desafios. **Magis Revista Internacional de Investigación em Educación**, v. 5, n. 10, p. 173-187, 2012.

LEMOS, André. **A comunicação das coisas**: teoria ator-rede e cibercultura. São Paulo: Annablume, 2013.

LÉVY, Pierre. **Cibercultura**. São Paulo: Editora 34, 2010.

LIMA, Luís Gomes de; RICARDO, Elio Carlos. O ensino da Mecânica Quântica no nível médio por meio da abstração científica presente na interface Física-Literatura. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 36, n. 1, p. 8-54, 2019.

LIMA, Nathan Willig; OSTERMANN, Fernanda; CAVALCANTI, Claudio José de Holanda. A não-modernidade de Bruno Latour e suas implicações para a Educação em Ciências. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 35, n. 2, p. 367-388, 2018.

LIMA, Nathan Willig; VAZATA, Pedro Antonio Viana; OSTERMANN, Fernanda; CAVALCANTI, Claudio José de Holanda; GUERRA, Andreia. Educação em Ciências nos tempos de pós-verdade: reflexões metafísicas a partir dos estudos das ciências de Bruno Latour. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 19, p. 155-189, 2019.

LINO, Alex; FUSINATO, Polônia Altoé. A influência do conhecimento prévio no ensino de Física Moderna e Contemporânea: um relato de mudança conceitual como processo de aprendizagem significativa. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, v. 4, n. 3, 2011.

LISBÔA, Roseny A. M. de; PESSOA JUNIOR, Osvaldo F.. Concepções sobre verdade na ciência: visões filosóficas de professores de física do ensino superior. **Revista de Enseñanza de La Física**, v. 27, n. extra, p. 45-52, 2015.

LOPES, Alice Ribeiro Casimiro. Bachelard: o filósofo da desilusão. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 13, n. 3, p. 248-273, 1996.

LYOTARD, Jean François. **A condição pós-moderna**. Tradução: Ricardo Corrêa Barbosa. 12 ed. Rio de Janeiro: José Olympio, 2009.

MACÊDO, Luciel Antônio da Silva; VIEIRA, Eduardo Paiva de Pontes. As epistemes e a produção de saberes na contemporaneidade. **Crítica Educativa**, v. 5, n. 2, p. 33-42, 2019.

MACKEDANZ, Luiz Fernando; ROSA, Liane Serra da. O discurso da interdisciplinaridade e as impressões docentes sobre o ensino de Ciências Naturais no Ensino Fundamental. **Revista Thema**, v. 13, n. 3, p. 140-152, 2016.

MAGALHÃES JÚNIOR, Carlos Alberto de Oliveira; PIETROCOLA, Maurício. Atuação de Professores Formados em Licenciatura Plena em Ciências. **ALEXANDRIA Revista de Educação em Ciência e Tecnologia**, v. 4, n. 1, p. 175-198, 2011.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Metodologia Científica**. 7 ed., São Paulo: Atlas, 2019.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Técnicas de Pesquisa**. 8 ed., São Paulo: Atlas, 2021.

MARTINS, Roberto de Andrade. **O universo**: teorias sobre sua origem e evolução. 2 ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2012.

MASSONI, Neusa Teresinha; BARP, Jeferson; DANTAS, Claudio Rejane da Silva. O ensino de Física na disciplina de ciências no ensino fundamental: reflexões e viabilidade de uma experiência de *ensino por projetos*. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 35, n. 1, p. 235-261, abr. 2018.

MASSONI, Neusa Teresinha; MOREIRA, Marco Antonio. A visão etnográfica de Bruno Latour da ciência moderna e a antropologia simétrica. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, v. 10, n. 3, p. 61-80, set./dez. 2017.

MATOS, Jênifer Andrade de. **Apresentando conceitos do movimento de queda dos corpos no ensino fundamental através de um aporte histórico e epistemológico**. Orientadora: Neusa Teresinha Massoni. 2016. 194f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

MEDEIROS, Luciano Frontino de; CROVADOR, Álvaro; SILVA, Hamilton Pereira da. Simulador Computacional para Demonstração das Propriedades um Gás Ideal em 2D. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 35, n. 2, p. 573-591, 2018.

MEGGIOLARO, Graciela Paz; ANDRADE NETO, Agostinho Serrano. Qual mediação sobressai no aprendizado de soma vetorial? Uma investigação no ensino de campo elétrico em Física. **Educação Matemática em Revista**, v. 1, n. 18, p. 154-165, 2017.

MEGGIOLARO, Graciela Paz; SERRANO, Agostinho. A importância da mediação social na investigação do conceito de carga elétrica no Ensino de Física. **Revista Insignare Scientia**, v. 3, n. 5, p. 560-577, 2020.

MEGGIOLARO, Graciela Paz; ANDRADE NETO, Agostinho Serrano de; SANTOS, Antônio Vanderlei dos. Uma investigação entre o conceito de campo elétrico e as formas de mediações no ensino de física. **ENCITEC Ensino de Ciências e Tecnologia em Revista**, v. 11, n. 1, p. 189-201, 2021.

MELO, Marcos Gervânio de Azevedo; CAMPOS, Joanise Silva; ALMEIDA, Wanderlan dos Santos. Dificuldades enfrentadas por professores de ciências para ensinar Física no Ensino Fundamental. **Revista Brasileira de Ensino de Ciências e Tecnologia**, v. 8, n. 4, 2015.

MELO, Joyce Padilha de; COUTINHO, Francisco Ângelo; SILVA, Fábio Augusto Rodrigues e; VILAS_BOAS, Adlane. Uma contribuição ao ensino de genética por meio de uma abordagem do trabalho de Mendel à luz do fluxo sanguíneo da ciência de Bruno Latour. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 22, e34556, p. 1-19, 2022.

MERTON, Robert King. **Ensaio de Sociologia da Ciência**. São Paulo: Associação Filosófica Scientiae Studia/Editora 34, 2013.

MILARÉ, Tathiane; ALVES FILHO, José de Pinho. Ciências no nono ano do ensino fundamental: da disciplinaridade à alfabetização científica e tecnológica. **Revista Ensaio**, v. 12, n. 2, p. 101-120, 2010.

MONAGHAN, J. M.; CLEMENT, J. J. Use of a computer simulation to develop mental simulations for understanding relative motion concepts. **International Journal of Science Education**, v. 21, n. 9, p. 921-944, 1999.

MONTEIRO, Marco Aurélio Alvarenga; CARVALHO, Samuel José de; MONTEIRO, Isabel Cristina de Castro; CINDRA, José Lourenço. Estudo da queda livre em aulas de Física do Ensino Médio a partir de um marcador de tempo e da História da Ciência. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 35, n. 3, p. 1004-1019, dez. 2018.

MONTEIRO, Maria Amélia; NARDI, Roberto; BASTOS FILHO, Jenner Barretto. Dificuldade dos professores em introduzir Física Moderna no ensino médio: a necessidade de superação da racionalidade técnica nos processos formativos. *In*: NARDI, R. (org.). **Ensino de ciências e matemática I: temas sobre formação de professores** [online]. São Paulo: Editora UNESP, 2009, p. 145-159.

MONTEIRO, Maria Amélia. **Discursos de professores e de livros didáticos de física do nível médio em abordagens sobre o ensino da física moderna e**

contemporânea: algumas implicações educacionais. Orientador: Roberto Nardi. Coorientador: Jenner Barreto Bastos Filho. 2010. 433f. Tese (Doutorado em Educação para a Ciência), Universidade Estadual Paulista, Bauru/SP, 2010.

MORAES, Marcia. A ciência como rede de atores: ressonâncias filosóficas. **História, Ciências, Saúde – Manguinhos**, v. 11, n. 2, p. 321-333, 2004.

MORAES, Raquel de Almeida. **Informática Educativa no Brasil:** das origens à década de 1990. Uberlândia: Navegando Publicações, 2016.

MORAES; Roberto Barreto de; VIANNA, Deise Miranda. As interações verbais entre estudantes sob a perspectiva latouriana em uma oficina investigativa sobre magnetismo com cinescópios. **Revista Enseñanza de la Física**, v. 33, n. 2, p. 73-80, 2021.

MOREIRA, Marco Antonio. A Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud, o ensino de ciências e a pesquisa nesta área. **Investigações em Ensino de Ciências**, v.7, n. 1, p. 7-29, 2002.

MOREIRA, Marco Antonio. Modelos científicos, modelos mentais, modelagem computacional e modelagem matemática: aspectos epistemológicos e implicações para o ensino. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, v. 7, n. 2, p. 1-20, maio/ago. 2014.

MOREIRA, Marco Antonio. Modelos mentais. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 1, n. 3, p. 193-232, 1996.

MOURA, Fábio Andrade de; VIANNA, Pedro Oliveira. O Ensino de Física Moderna baseado no filme Interestelar: Abordagem didática para a aprendizagem significativa. **Research, Society and Development**, v. 8, n. 3, 2019.

MOURA, Francisco Nunes de Souza; RODRIGUES, Carla Manoela Costa; MENEZES, Jones Baroni Ferreira de. Tecnologias digitais educacional: tessituras da prática docente. **Ensino em Foco**, v. 2, n. 5, p. 72-86, 2019.

MOZENA, Erika Regina; OSTERMANN, Fernanda. Sobre a Base Nacional Curricular Comum (BNCC) e o Ensino de Física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 33, n. 2, p. 327-332, 2016.

NEUFELD, Carmem Beatriz; BRUST, Priscila Goergen; STEIN, Lilian Milnitsky. Bases Epistemológicas da Psicologia Cognitiva Experimental. **Psicologia: Teoria e Pesquisa**, v. 27, n. 1, p. 103-112, 2011.

NUNES, Ana Ignez Belém Lima; SILVEIRA, Rosemary do Nascimento. **Psicologia da Aprendizagem**. 3 ed. rev., Fortaleza: EdUECE, 2015.

NUNES, Emanuely Torres; SILVA, Ivanderson Pereira da; MERCADO, Luis Paulo Leopoldo. Levantamento dos Temas TIC e EAD nos Periódicos Qualis. **Informática na Educação: teoria e prática**, v. 19, n. 3, 2016.

OBATA, Joice Yuko; MOCROSKY, Luciane Ferreira; KALINKE, Marco Aurélio. Tecnologia, educação e educação tecnológica: heranças e endereçamentos. **Tear Revista de Educação, Ciência e Tecnologia**, v. 7, n. 1, 2018.

OLIVEIRA, Moisés Alves de. Estudos de laboratório no ensino médio a partir de Bruno Latour. **Educação e Realidade**, v. 31, n. 1, p. 163-182, 2006.

OLIVEIRA, Angela Maria Gonçalves de; LIMA, Glaucilene Sebastiana Nogueira. A gestão educacional e a efetivação de políticas públicas para utilização das TIC na educação. **Revista Exitus**, v. 5, n. 2, p. 125-137, 2015.

OLIVEIRA, Maria Auxiliadora Montero; TOSTA, Sandra de Fátima Pereira; XAVIER, Andressa. A informática na educação: um estudo do Proinfo em Belo Horizonte. *In*: COSTA, José Wilton da; OLIVEIRA, Maria Auxiliadora Monteiro (org.). **Novas Linguagens e Novas Tecnologias: Educação e sociabilidade**, Petrópolis, RJ: Vozes, 2004.

OSTERMANN, Fernanda; CAVALCANTI, Cláudio José de Holanda. **Epistemologia: implicações para o ensino de ciências**. Porto Alegre: Evangraf UFRGS, 2011.

OSTERMANN, Fernanda; MOREIRA, Marco Antonio. Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa “Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio”. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 5, n. 1, p. 23-48, 2000.

OZELAME, Diego Machado. Possibilidade de Problematizar fundamentos que produzem o corpo social chamado Educação e Ensino de Ciências. **Revista Espaço Acadêmico**, n. 224, p. 251-261, 2020.

PAULA, Sílvio Luiz de; CAMPELLO DE SOUZA, Bruno. Inteligência informacional e hipercultura entre estudantes de graduação. **Perspectivas em Ciência da Informação**, v. 25, n. 1, p. 31-52, 2020.

PEARSON, Joel; KOSSLYN, Stephen M.. The heterogeneity of mental representation: Ending the imagery debate. **PNA**, v. 112, n. 33, p. 10089-10092, 2015.

PEARSON, Joel; NASELARIS, Thomas; HOLMES, Emily A.; KOSSLYN, Stephen M.. Mental Imagery: Functional Mechanisms and Clinical Applications. **Trends in Cognitive Sciences**, v. 19, n. 10, p. 590-602, 2015.

PEIXOTO, Joana; CARVALHO, Rose mary Almas de. Mediação pedagógica mediatizada pelas tecnologias?. **Revista Teoria e Prática da Educação**, v. 14, n. 1, p. 31-38, 2011.

PEREIRA, Alexsandro P.; OSTERMANN, Fernanda. Sobre o ensino de Física Moderna e Contemporânea: uma revisão da produção acadêmica recente. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 14, n. 3, p. 393-420, 2009.

PERES, Marcus Vinicius. **Ensino de Física Moderna e Contemporânea baseado em atividades de laboratório mediadas pela utilização de um software de**

videoanálise e modelagem. Orientador: Arandi Ginane Bezerra Junior, Co-orientador: Jorge Alberto Lenz. 2016. 98f. Dissertação (Mestrado em Formação Científica, Educacional e Tecnológica), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

PERON, Thiago Silva; GUERRA, Andreia. Construindo a caixa-preta da dualidade onda-partícula de Louis de Broglie em sala de aula. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 21, e21890, p. 1-30, 2021.

PICANÇO, Lucas Teixeira; ANDRADE NETO, Agostinho Serrano de; GELLER, Marlise. A mediação cognitiva por meio de recursos digitais de Tecnologia Assistiva para estudantes surdos: realidade, expectativas e possibilidades. **Revista Brasileira de Informática na Educação**, v. 30, p. 50-72, 2022.

PIEPER, Fernando Colomby. A influência de uma simulação computacional no aprendizado da força de Lorentz. **Ensino de Ciências e Tecnologia em Revista**, v. 9, n. 1, p. 108-124, 2019.

PIEPER, Fernando do Colomby; ANDRADE NETO, Agostinho Serrano. Evidências da emergência de *drivers* hiperculturais durante o aprendizado de conceitos de eletromagnetismo em alunos do Ensino Médio após a utilização de simulações computacionais. **Acta Scientiae**, v. 17, n. 3, p. 792-812, 2015.

PIEPER, Fernando do Colomby; ANDRADE NETO, Agostinho Serrano. O uso de uma simulação computacional como ferramenta de processamento extracerebral: resultados preliminares de uma análise gestual. **Revista Areté**, v. 11, n. 24, p. 132-152, ago./dez. 2018.

PINTO, Jorge. **Psicologia da Aprendizagem: Concepções, Teorias e Processos.** Coleção Aprender. Instituto do Emprego e Formação Profissional, 2003. Disponível em: <https://comum.rcaap.pt/bitstream/10400.26/6827/1/Psicologia%20da%20aprendizagem%20-%20concep%C3%A7%C3%B5es....pdf>. Acesso em 14 jul. 2020.

PIRES, Clayton Antonio Pereira. **Uma proposta de ensino sobre a luz para o 9º ano do ensino fundamental:** sua natureza, propagação e interação com a matéria. Orientador: José Roberto Tagliati. 2017. 183f. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física), Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2017.

PIURCOSKY, Fabrício Pelloso; SILVA, Guaraci; PORTUGAL, Nilton dos Santos; GOMES, Celso Augusto dos Santos; SILVA, Sheldon William. Visão de alunos e professores sobre melhorias na educação: pesquisa de campo em escolas públicas municipais de uma cidade sul mineira. **Revista Ciências Humanas – Educação e Desenvolvimento Humano**, v. 12, n. 1, p. 52-62, jan./abr. 2019.

PONCZEK, Roberto Leon. **Deus ou seja a Natureza:** Spinoza e os novos paradigmas da Física. Salvador: EDUFBA, 2009.

PORTELA, Francylene Souza; SILVA, Paulo Ricardo da. Estudo sobre a formação e concepções de professores de química sobre o uso de tecnologias de informação e comunicação no ensino. **Scientia Naturalis**, v. 1, n. 2, p. 104-117, 2019.

PRADO, Gustavo Ferreira. **Metodologias ativas no Ensino de Ciências**: um estudo das relações sociais e psicológicas que influenciam a aprendizagem. Orientadora: Silvia Regina Q. Aro Zuliani. 2019. 369f. Tese (Doutorado em Educação para a Ciência). Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2019.

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA E SOCIEDADE. **Sobre**. Disponível em: <http://www.utfpr.edu.br/cursos/coordenacoes/stricto-sensu/ppgte/sobre>. Acesso em 20 de setembro de 2019.

RAMOS, Adriana de Farias; ANDRADE NETO, Agostinho Serrano. Estudo da aprendizagem mediada por computador: as contribuições da modelagem molecular para o ensino de química. **RENOTE Revista Novas Tecnologias na Educação**, v. 12, n. 2, p. 1-10, 2014.

RAMOS, Tiago Clarimundo; QUEREZA, Gustavo; LANDI JR, Salmon. Uma proposta experimental para o estudo de oscilações acopladas usando um simulador de propagação de ondas mecânicas em meios sólidos. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 42, 2020.

RAUPP, Daniele; SERRANO, Agostinho; MARTINS, Tales Leandro Costa; SOUZA, Bruno Campello de. Uso de um software de construção de modelos moleculares no ensino de isomeria geométrica: um estudo de caso baseado na teoria da mediação cognitiva. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 9, n. 1, p. 18-34, 2010.

REIS, Rafaela da Silva; LEITE, Bruno Silva; LEÃO, Marcelo Brito Carneiro. Apropriação das Tecnologias da Informação e Comunicação no ensino de ciências: uma revisão sistemática da última década (2007-2016). **Novas Tecnologias na Educação**, v. 15, n. 2, 2017.

RIBEIRO, Daniel. Fusão nuclear. **Revista de Ciência Elementar**, v. 2, n. 4, p. 1-3, 2015.

ROCHA, Juliano Rodrigues; ANDRADE NETO, Agostinho Serrano. Um estudo de caso exploratório sobre a internalização de conceitos sobre eletrostática: a influência da hipercultura e mediação digital. **RENOTE Revista Novas Tecnologias na Educação**, v.11, n. 3, p. 1-10, 2013.

ROCHA, Carlos Raphael; HERSCOVITZ, Victoria Elnecave; MOREIRA, Marco Antonio. Uma revisão da literatura em publicações de 2010 a 2016 sobre o ensino de conceitos fundamentais de Mecânica Quântica. **Lat. Am. J. Phys. Educ.**, v. 12, n. 1, 2018.

ROCHA, Wagner Dias. **Uma proposta de abordagem experimental para o efeito fotoelétrico**: construindo conceitos de Física Moderna e Contemporânea com LEDs e outros componentes de baixo custo. Orientador: Bruno Gonçalves. 2018. 85f.

Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física), Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2018.

RODRIGUES, Danilo Miranda. **O conceito de espaço e a evolução das distâncias astronômicas**: construção de um material didático. Orientador: Ramachrisna Teixeira. 2017. 130f. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Astronomia), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

ROLIAK, Angelina O. ICT implementation in the system of teacher education: nordic dimension. **Information Technologies and Learning Tools**, v. 69, n. 1, p. 258-267, 2019.

ROMÃO, Janúzia de Nazaré Santos; ALMEIDA, Patrícia Vasconcelos. Formação do professor para o uso das tecnologias digitais. **Revista Moara**, v. 1, n. 51, 2019.

ROMERO-MALTRANA, Diego; BENITEZ, Federico; VERA, Francisco; RIVERA, Rodrigo. The 'Nature of Science' and the Perils of Epistemic Relativism. **Research in Science Education**, v. 49, n. 6, p. 1735-1757, 2019.

SABINO, Ana Claudia; CAMPOS, Alysson Marcelo de; MORAIS, Donizete Torres; KALED, João Paulo; GOZZI, Maria Estela; VISCOVINI, Ronaldo. A utilização do software Maxima no ensino por investigação da evolução estelar utilizando simulação gráfica da fusão nuclear. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 41, n. 3, p. 1-9, 2019.

SANCHIS, Isabelle de Paiva; MAHFOUD, Miguel. Interação e construção: o sujeito e o conhecimento no construtivismo de Piaget. **Ciência & Cognição**, v. 12, p. 165-177, 2007.

SANTOS, Boaventura de Sousa. **Introdução a uma Ciência Pós-Moderna**. São Paulo: Graal. 3 ed. 1989.

SANTOS, José Rufino Silva dos; SOUZA, Brenda Thaise Cerqueira de. A utilização das Tecnologias de Informação e Comunicação no ensino de Biologia: uma revisão bibliográfica. **Id on Line Revista Multidisciplinar de Psicologia**, v. 13, n. 45, suplemento 1, p. 40-59, 2019.

SCHULZ, Peter A. Duas nuvens ainda fazem sombra na reputação de Lorde Kelvin. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 49, n. 4, 2007.

SERRANO, Agostinho; WOLFF, Jeferson Fernando de Souza. A influência das simulações no aprendizado de colisões mecânicas em Física. **Acta Scientiae**, v. 16, n. 4, p. 25-46, 2014.

SILVA, Débora Carolina; NASCIMENTO, Iramar Baptistella do; FLEIG, Raquel. Avaliação de variáveis relacionadas à utilização de tecnologias na vida do professor. **Revista Intersaberes**, v. 13, n. 30, 474-493, set./dez. 2018.

SILVA, Ivanderson Pereira; MERCADO, Luis Paulo Leopoldo. Revisão sistemática de literatura acerca da experimentação virtual no ensino de Física. **Ensino & Pesquisa**, v. 17, n. 1, p. 49-77, 2019.

SILVA, Luiz Eduardo L da; MENDONÇA, Raimundo W. F.; LEITE, Joiane R.; MEOTTI, Euricleia G. Coelho; SOUZA, Mayana G. P. de. ChemsSketch: uma breve análise do seu impacto no desenvolvimento das habilidades visuoespaciais de alunos do Instituto Federal do Amazonas – IFAM. **Scientia Naturalis**, v. 1, n. 4, p. 39-55, 2019a.

SILVA, João Batista da; SALES, Gilvandenys Leite; CASTRO, Juscileide Braga de. Gamificação como estratégia de aprendizagem ativa no ensino de Física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 41, n. 4, 2019b.

SILVA, Alexandre Leite dos Santos; SANTOS, Silvia Martins. Um curso de física para professores de ciências naturais do ensino fundamental. **Cadernos da Pedagogia**, v. 10, n. 20, 2017.

SILVA, Leonilda do Nascimento da; VELOSO, Maria Sônia Silva Oliveira. Plataforma virtual como suporte de apoio e acompanhamento no ensino de Física. **Pesquisa e Debate em Educação**, v. 10, n. 2, p. 1313-1326, 2020.

SILVA, Vinícius Carvalho; VICENTINI, Renato da Silva; MATSUMOTO, Harumi; SOUZA, Breno Sabino Leite de. O laboratório como espaço da produção dos fatos científicos no pensamento de Latour e Woolgar. **Revista Ideação**, n. 40, p. 220-236, 2019c.

SILVA, Wagner Moreira da; ZANOTELLO, Marcelo. Discursos sobre Física Contemporânea no Ensino Médio a partir da Leitura de Textos de Divulgação Científica. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 17, n. 1, p. 45-74, 2017.

SILVA, Quemuel Pereira da; LACERDA, Maria Gabriella de Abreu; OLIVEIRA, Amanda Alves de; RENÔR, Ramon Ryon Cirilo; BEZERRA, Rômulo Rodrigues de Moraes; LIMA, Jefferson Felipe Silva de; SENA, Luana Samara Balduino de; MONTEIRO, Bárbara Vanessa de Brito. Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs) no auxílio do ensino-aprendizagem da Histologia – Revisão de literatura. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 7, 2020.

SILVA, Cristiana Maria dos Santos; ROMEU, Mairton Cavalcante; BARROSO, Maria Cleide da Silva. Uso de simulações computacionais em aulas de Física: uma Revisão Sistemática de Literatura – RSL. **Revista Insignare Scientia**, v. 5, n. 3, p. 243-263, 2022.

SISMONDO, Sergio. **An Introduction to Science and Technology Studies**. 2 ed. Wiley Blackwell: West Sussex, UK, 2010.

SOARES, Antonio Augusto; CARMO, Rodrigo do. Um simulador virtual para o ensino do Movimento Harmônico Simples desenvolvido utilizando o GeoGebra. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, v. 9, n. 3, p. 1-18, 2016.

SOARES NETO, João Augusto; ANDERSON, Paulo Renda; STOFFES JUNIOR, Moacy José; STEIN, Cléver Reis; SILVA, Adel Rayol de Oliveira. Proposta de modelos para o ensino de física de partículas elementares na educação básica. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 7, p. 43242-43257, 2020.

SOUZA, Ednilson Sérgio Ramalho de. A formação de modelos mentais na sala de aula. **Revista EXITUS**, v. 3, n. 1, p. 169-184, jan./jun. 2013.

SOUZA, Rosangela Vieira de; TOLENTINO-NETO, Luiz Caldeira Brant. As TIC na prática pedagógica de professores de ciências no viés construtivista. **Ensino de Ciências e Tecnologia em Revista**, v. 9, n. 1, jan./abr. 2019.

SOUZA, Renatto Barbosa de; CASTRO, Luizdarcy Matos; CAMPOS, Simara Santos. Conceitos modernos propelidos por jogos pedagógicos em um pano de fundo clássico: UEPS sobre a interação das radiações com a matéria. **Experiências em Ensino de Ciências**, v. 15, n. 2, 2020.

STEPHENS, A. Lynn; CLEMENT, John J. Documenting the use of expert scientific reasoning processes by high school physics students. **Physical Review Special Topics – Physics Education Research**, v.6, p. 1-15, 2010.

STERNBERG, Robert J. Intelligence. **WIREs Cognitive Science**, v.3, p.501-511, 2012.

TAKAHASHI, Tadao. **Sociedade da Informação no Brasil**: livro verde. Brasília: Ministério da Ciência e Tecnologia, 2000.

TAUCEDA, Karen Cavalcanti; NUNES, Vladimir Magdaleno; DEL PINO, José Cláudio. O livro didático e as representações mentais de bioquímica e biofísica em alunos do ensino médio. **Experiências em Ensino de Ciências**, v. 6, n. 1, p. 57-68, 2011.

TEIXEIRA, Cilaine Verônica; MASSONI, Neusa Teresinha; VARGAS, Ghisiane Spinelli. Raios X: um tema instigante para a introdução da Física Moderna e Contemporânea na sala de aula do ensino básico. **Experiências em Ensino de Ciências**, v. 12, n. 2, p. 80-93, 2017.

TERRAZAN, Eduardo Adolfo. A inserção da Física Moderna e Contemporânea no ensino de Física na escola de 2º grau. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 9, n. 3, p. 209-214, 1992.

TREVISAN, Robson; ANDRADE NETO, Agostinho Serrano de. A utilização de ferramentas hiperculturais no ensino de mecânica quântica: investigação do aprendizado de representações, *drivers* e conceitos quânticos. **CINTED – Novas Tecnologias na Educação**, v. 12, n. 2, p. 1-10, 2014.

TREVISAN, Robson; ANDRADE NETO, Agostinho Serrano. Bancadas virtuais e *storyboards* com ilustrações microscópicas representativas como recursos no estudo da Mecânica Quântica. **RBECEM**, v. 2, n. 2, p. 356-387, 2019.

TREVISAN, Robson; ANDRADE NETO, Agostinho Serrano. Um estudo da relação entre as imagens mentais utilizadas por estudantes de Mecânica Quântica e seu perfil epistemológico: uma investigação pela metodologia Report Aloud. **Revista Góndola, Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias**, v. 11, n. 2, p. 212-227, 2016.

TREVISAN, Robson; SERRANO, Agostinho. Investigando os *Drivers* e as Representações Mentais Presentes nas Interpretações Privadas de Estudantes de Mecânica Quântica. **Acta Scientiae**, v. 20, n. 4, p. 725-746, 2018.

TREVISAN, Robson; SERRANO, Agostinho; WOLFF, Jeferson; RAMOS, Adriana. Peeking into students' mental imagery: the Report Aloud technique in Science Education research. **Ciência & Educação**, v. 25, n. 3, p. 647-664, 2019.

TREVISAN, Robson. **Uma investigação dos drivers e representações mentais presentes nas interpretações privadas de estudantes de mecânica quântica: um estudo pela técnica Report Aloud**. Orientador: Agostinho Serrano de Andrade Neto. 2020. 360f. Tese (Doutorado em Ensino de Ciências e Matemática), Universidade Luterana do Brasil, Canoas, 2020.

VENTURINI, T. Diving in magma: How to explore controversies with actor-network theory. **Public Understanding of Science**, v. 19, n. 3, p. 258-273, 2010.

VENTURINI, T. Building on faults: How to represent controversies with digital methods. **Public Understanding of Science**, v. 21, n. 7, p. 796-812, 2012.

VERGNAUD, G. A comprehensive theory of representation for mathematics education. **Journal of Mathematical Behavior**, v. 17, n. 2, p. 167-181, 1998.

VERGNAUD, Gérard. La théorie des champs conceptuels. **Recherches em Didáctique des Mathématiques**, v. 10, n. 23, p. 133-170, 1990.

VIDEIRA, Antonio Augusto Passos; FRANCISQUINI, Mariana Faria Brito. A instituição da "Física de Partículas Elementares" como disciplina científica e sua relação com a formação de professores. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 35, n. 1, p. 81-96, 2018.

VIEIRA JUNIOR, Niltom; COLVARA, Laurence Duarte. Os modelos mentais de alunos em relação a vetores em duas e três dimensões: uma análise da dinâmica da aprendizagem e da inadequação das avaliações tradicionais. **Ciências & Cognição**, v. 15, n. 2, p. 55-69, 2010.

VILELA, Augusto Nilo de Oliveira; IZIDORO, José Luiz. Os fundamentos da verdade no pensamento de René Descartes: uma relação à sua época, uma proposta à nossa época. **CES Revista**, v. 27, n. 1, p. 53-71, 2013.

VILELA, Mariana Lima; SELLES, Sandra Escovedo. É possível uma Educação em Ciências crítica em tempos de negacionismo científico?. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 37, n. 3, p. 1722-1747, 2020.

WEB OF SCIENCE - Coleção Principal (Clarivate Analytics). Detalhes da Base – descrição. 2021. Disponível em: <https://clarivate.com/webofsciencgroup/solutions/webofscience-platform/>. Acesso em 12 de fevereiro de 2021.

WINNER, Langdon. Do Artifacts have Politics? *In*: _____. **The Whale and the Reactor: A Search for Limits in an Age of High Technology**. Chicago: The University of Chicago Press, 1986, p. 19-39.

WOLFF, Jeferson Fernando de Souza. **Qual a mudança na estrutura cognitiva de estudantes após o uso de simulações computacionais?** Uma investigação da relação entre representações computacionais internalizadas e aprendizagem significativa de conceitos no campo das colisões mecânicas em Física. Orientador: Agostinho Serrano de Andrade Neto. 2015. 332f. Tese (Doutorado em Ensino de Ciências e Matemática), Universidade Luterana do Brasil, Canoas, 2015.

XAVIER, Antônio Roberto; FIALHO, Lia Machado Fiuza; LIMA, Valdeci Ferreira. Tecnologias digitais e o ensino de química: o uso de softwares livres como ferramentas metodológicas. **Foro de Educación**, v. 17, n. 27, p. 289-308, jul./dez. 2019.

ZANATTA, Ronnie Petter Pereira; SAAVEDRA FILHO, Nestor Cortez. O Ensino de Ciências e a leitura da modernidade e da pós-modernidade por Bruno Latour: reflexões acerca do surgimento de pós-verdades e concepções alternativas no Ensino de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Fundamental II. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 37, n. 3, p. 1469-1495, 2020.

APÊNDICE 01 - QUESTIONÁRIO INICIAL - ESTUDANTES

Nome: _____

Idade: _____ anos

Código do estudante: _____

Data: ____/____/____

1. Você possui microcomputador (PC ou *notebook*) em casa?
() Não.
() Sim. Quantos? _____

2. Você possui acesso à internet em sua casa?
() Não.
() Sim.

3. Você possui telefone celular do tipo *smartphone*?
() Não.
() Sim.

4. Seu *smartphone* possui acesso à Internet a partir de dados móveis?
() Não.
() Sim.

5. Você costuma jogar jogos eletrônicos?
() Não.
() Sim.

6. Você possui aparelho de televisão em sua casa?
() Não.

() Sim. Quantos? _____

7. Em média, quanto tempo você usa equipamentos conectados à internet por dia?

- () Não uso.
- () Menos de uma hora por dia.
- () Entre uma e três horas por dia.
- () Mais de três horas por dia.

As questões 8, 9 e 10 poderão ter mais de uma resposta.

8. Quando precisa de ajuda para resolver alguma atividade escolar, na maioria das vezes, você:

- () Pergunta para algum amigo ou familiar.
- () Procura em algum livro ou revista impressos.
- () Procura na internet.
- () Nenhuma das opções acima.

9. Na sua opinião, você aprende melhor alguma coisa nova:

- () Conversando com outras pessoas.
- () Assistindo um vídeo na internet.
- () Lendo algum texto impresso.
- () Nenhuma das opções acima.

10. Na sua opinião, é mais fácil lembrar de alguma história se você:

- () Ouvia alguém contar.
- () Assistiu um vídeo sobre ela.
- () Leu em algum livro/revista/jornal impresso.
- () Nenhuma das opções acima.

Para responder as próximas questões, você poderá utilizar desenhos, textos, diagramas, ou o que considerar necessário.

11. Na sua opinião, o que causa a força gravitacional que faz com que as coisas caiam em direção à superfície da Terra?

12. Na sua opinião, como surgiram os diferentes elementos químicos (oxigênio, ferro, ouro, nitrogênio etc.) no Universo?

APÊNDICE 03 - TERMO DE ASSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TALE) / TERMO DE CONSENTIMENTO PARA USO DE IMAGEM E SOM DE VOZ (TCUISV)

Informação geral

Título do Projeto: Implicações cognitivas da mediação digital no processo ensino-aprendizagem de Física Moderna e Contemporânea em estudantes do Ensino Fundamental II a partir de uma perspectiva não-moderna.

Investigador: Ronnie Petter Pereira Zanatta

Local da Pesquisa: Escola Municipal Albert Schweitzer

Endereço: R. Décio Barreto, 153 - Cidade Industrial De Curitiba, Curitiba - PR, 81305490

O que significa assentimento?

O assentimento significa que você concorda em fazer parte de um grupo de adolescentes, da sua faixa de idade, para participar de uma pesquisa. Serão respeitados seus direitos e você receberá todas as informações por mais simples que possam parecer.

Leia cuidadosamente o que segue e me pergunte sobre qualquer dúvida que você tiver. Após ser esclarecido (a) sobre as informações a seguir, e caso aceite fazer parte do estudo, assine ao final deste documento, que consta em duas vias. Uma via pertence a você e a outra ao pesquisador responsável. Em caso de recusa você não sofrerá nenhuma penalidade.

Informação ao participante da pesquisa:

Você está sendo convidado(a) a participar de uma pesquisa, com o objetivo de identificar e avaliar as mudanças cognitivas em estudantes após a utilização de Tecnologias de Informação e Comunicação nas aulas de Ciências. Esta pesquisa busca analisar como ocorre a interação entre humanos e artefatos tecnológicos no ensino para que se entenda como o processo ensino-aprendizagem deva ser planejado a fim de melhorar a aprendizagem de conceitos não sensoriais da Ciência. Esta pesquisa ocorrerá durante as aulas de Ciências e os dados serão coletados a partir de dois questionários individuais e de entrevistas semiestruturadas com captura de áudio de vídeo. Os dados coletados e a identificação dos estudantes serão mantidos em sigilo, assim como nas imagens serão utilizadas tarjas nos rostos para que a identidade do estudante seja preservada em sigilo. Após a utilização dos dados coletados na forma de imagens e sons, estes serão descartados.

Caso você aceite participar, a pesquisa envolverá a participação em uma sequência de 15 aulas de Ciências, responder a dois questionários sobre sua experiência com tecnologias digitais e sobre os assuntos das aulas e participar de uma entrevista com duração aproximada de 10 minutos com gravação de áudio e vídeo. Estarão incluídos nesta pesquisa estudantes regularmente matriculados no 9º ano da Escola Municipal Albert Schweitzer, Curitiba, presentes nos dias das atividades. Pesquisas com coletas de dados sobre o ensino e aprendizagem geram riscos mínimos, geralmente relacionados a um possível desconforto ou receio de constrangimento durante a observação. Para eliminar ou reduzir esses riscos, você será informado(a) sobre todos os procedimentos das atividades e poderá solicitar, a qualquer momento, que parte ou toda a informação coletada sobre você não seja utilizada na pesquisa.

Participando desta pesquisa você poderá desenvolver suas habilidades criativas em relação às representações mentais de conceitos abstratos, ampliar seu conhecimento na área da

Física Nuclear e Gravitação, discutir com fundamentos sobre o desenvolvimento do conhecimento científico ao longo da história. Dessa forma, você contribuirá também para um melhor entendimento dos mecanismos cognitivos que favorecem a aprendizagem na sua faixa etária.

A sua participação é voluntária e que caso você opte por não participar, não terá nenhum prejuízo ou represálias.

Durante todas as atividades serão respeitados todos os protocolos de prevenção da transmissão de Covid-19, elaborados pelas autoridades sanitárias municipais.

Direito de sair da pesquisa e a esclarecimentos durante o processo.

Se por acaso, em qualquer momento do desenvolvimento desta pesquisa, você se sentir constrangido por qualquer motivo, você poderá solicitar que parte ou toda a informação coletada sobre você não seja utilizada na pesquisa. Além disso, você poderá solicitar para sair da pesquisa sem precisar dar explicações e sem prejuízos a qualquer tempo. Os resultados dessa pesquisa serão apresentados em uma tese de doutorado que estará disponível para o público em geral no repositório institucional da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, após a sua conclusão. Caso você tenha interesse em receber os resultados por e-mail, por favor assinale a opção abaixo:

- () quero receber os resultados da pesquisa (e-mail para envio : _____)
 () não quero receber os resultados da pesquisa

DECLARAÇÃO DE ASSENTIMENTO DO PARTICIPANTE DA PESQUISA:

Eu li e discuti com o investigador responsável pelo presente estudo os detalhes descritos neste documento. Entendo que eu sou livre para aceitar ou recusar, e que posso interromper a minha participação a qualquer momento sem dar uma razão. Eu concordo que os dados coletados para o estudo sejam usados para o propósito acima descrito.

Eu entendi a informação apresentada neste TERMO DE ASSENTIMENTO. Eu tive a oportunidade para fazer perguntas e todas as minhas perguntas foram respondidas.

Eu receberei uma cópia assinada e datada deste Documento DE ASSENTIMENTO INFORMADO.

Nome do participante: _____
 Assinatura: _____ Data: ___ / ___ / ___

Eu declaro ter apresentado o estudo, explicado seus objetivos, natureza, riscos e benefícios e ter respondido da melhor forma possível às questões formuladas.

Nome do (a) investigador (a): _____
 Assinatura: _____ Data: ___ / ___ / ___

DECLARAÇÃO DE CONSENTIMENTO PARA USO DE IMAGEM E SOM DE VOZ

Eu declaro ter conhecimento das informações contidas neste documento e ter recebido respostas claras às minhas questões a propósito da minha participação direta (ou indireta) na pesquisa e, adicionalmente, declaro ter compreendido o objetivo, a natureza, os riscos, benefícios, ressarcimento e indenização relacionados a este estudo.

Após reflexão e um tempo razoável, eu decidi, livre e voluntariamente, participar deste estudo, permitindo que os pesquisadores relacionados neste documento obtenham **fotografia, filmagem ou gravação de voz** minhas para fins de pesquisa científica/ educacional. As fotografias, vídeos e gravações ficarão sob a propriedade do grupo de pesquisadores pertinentes ao estudo e sob sua guarda.

Concordo que o material e as informações obtidas relacionadas a minha pessoa possam ser publicados em aulas, congressos, eventos científicos, palestras ou periódicos científicos. Porém, eu não devo ser identificado por nome ou qualquer outra forma. Estou consciente que eu posso deixar o projeto a qualquer momento, sem nenhum prejuízo. Após reflexão e um tempo razoável, eu decidi, livre e voluntariamente, permitir minha participação neste estudo.

Nome Completo: _____
 RG: _____ Data de Nascimento: ___/___/____ Telefone: _____
 Endereço: _____
 CEP: _____ Cidade: _____ Estado: _____
 Assinatura: _____ Data: ___/___/_____

Se você ou os responsáveis por você tiver(em) dúvidas com relação ao estudo, direitos do participante, ou no caso de riscos relacionados ao estudo, você deve contatar o investigador (a) do estudo ou membro de sua equipe: _____, telefone fixo número: _____ e celular _____. Se você tiver dúvidas sobre direitos como um participante de pesquisa, você pode contatar o Comitê de Ética em Pesquisa em Seres Humanos (CEP) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

ESCLARECIMENTOS SOBRE O COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA:

O Comitê de Ética em Pesquisa envolvendo Seres Humanos (CEP) é constituído por uma equipe de profissionais com formação multidisciplinar que está trabalhando para assegurar o respeito aos seus direitos como participante de pesquisa. Ele tem por objetivo avaliar se a pesquisa foi planejada e se será executada de forma ética. Se você considerar que a pesquisa não está sendo realizada da forma como você foi informado ou que você está sendo prejudicado de alguma forma, entre em contato com o Comitê de Ética em Pesquisa envolvendo Seres Humanos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (CEP/UTFPR). **Endereço:** Av. Sete de Setembro, 3165, Bloco N, Térreo, Bairro Rebouças, CEP 80230-901, Curitiba-PR, **Telefone:** (41) 3310-4494, **e-mail:** coep@utfpr.edu.br.

**APÊNDICE 04 - TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)/
TERMO DE CONSENTIMENTO PARA USO DE IMAGEM E SOM DE VOZ
(TCUISV)**

Título da pesquisa: Implicações cognitivas da mediação digital no processo ensino-aprendizagem de Física Moderna e Contemporânea em estudantes do Ensino Fundamental II a partir de uma perspectiva não-moderna.

Pesquisador(es/as) ou outro (a) profissional responsável pela pesquisa, com

Endereços e Telefones: Ronnie Petter Pereira Zanatta e Nestor Cortez Saavedra Filho

Programa de Pós-Graduação em Tecnologia e Sociedade PPGTE

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Telefone: (41) 3310-4680

Local de realização da pesquisa: Sala de aula, laboratório de ciências e laboratório de informática da Escola Municipal Albert Schweitzer.

Endereço, telefone do local: R. Décio Barreto, 153 - Cidade Industrial De Curitiba,
Curitiba - PR, 81305-490 – Telefone: (41) 32462028

A) INFORMAÇÕES AO PARTICIPANTE

1. Apresentação da pesquisa.

Prezado(a) responsável, este estudo do qual seu/sua filho(a) está sendo CONVIDADO(A) a participar pretende investigar os efeitos cognitivos da mediação digital nas aulas de conceitos relacionados à Física Moderna e Contemporânea durante as aulas de Ciências. Além da possibilidade de ampliação do conhecimento do estudante sobre os temas abordados nas atividades, os resultados desse estudo poderão esclarecer de que forma os professores de Ciências poderão se apoiar em tecnologias digitais para ensinar conceitos que não podem ser captados pelos órgãos sensoriais dos estudantes (visão, audição) e, desta forma, construir um ambiente didático que contribua para a aprendizagem mais efetiva dos estudantes.

2. Objetivos da pesquisa.

Este estudo tem como objetivo principal investigar as implicações cognitivas no processo ensino-aprendizagem de fusão nuclear e campo gravitacional einsteiniano no 9º ano do ensino fundamental a partir de uma perspectiva não-moderna de hibridação da mediação didática por Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC).

Como objetivos específicos, tem-se:

- i. Investigar quais são os *drivers* (mecanismos) extracerebrais utilizados pelos estudantes antes e após a mediação digital no processo ensino e aprendizagem à luz da TMC em Rede;
- ii. Relacionar os drivers extracerebrais utilizados com as representações mentais surgidas;
- iii. Interpretar as alterações cognitivas ocorridas à luz do conceito de não-modernidade latouriana.
- iv. Avaliar o conteúdo das representações mentais surgidas de acordo com o conhecimento científico sobre fusão nuclear e campo gravitacional einsteiniano.

3. Participação na pesquisa.

Caso você aceite a participação do(a) seu/sua filho(a) nesta pesquisa, ele(a) participará de uma sequência de 15 aulas de Ciências apoiadas no uso de tecnologias digitais (vídeos, *softwares* e simuladores virtuais) sobre temas relacionados à Física Moderna e Contemporânea (fusão nuclear e campo gravitacional einsteiniano) durante a rotina escolar do 9º ano do ensino fundamental. Durante as aulas, o(a) estudante deverá responder a dois questionários (um antes das atividades e outro depois das atividades) sobre sua experiência com as tecnologias digitais e sobre os assuntos das aulas e participar de uma entrevista com duração aproximada de 10 minutos com gravação de áudio e vídeo, também sobre o conteúdo abordado nas aulas. As atividades previstas serão referentes aos conteúdos já estabelecidos pelo Currículo Municipal de Ciências. Participando desta pesquisa pretendemos que o(a) estudante desenvolva suas habilidades criativas em relação às representações mentais de conceitos abstratos, amplie seu conhecimento na área da Física Nuclear e Evolução Estelar, discuta com fundamentos sobre o desenvolvimento do conhecimento científico ao longo da história. Dessa forma, ele(a) contribuirá também para um melhor entendimento dos mecanismos cognitivos que favorecem a aprendizagem na sua faixa etária.

Durante todas as atividades serão respeitados todos os protocolos de prevenção da transmissão de Covid-19, elaborados pelas autoridades sanitárias de todas as esferas governamentais.

4. Confidencialidade.

A identidade dos participantes será preservada durante a pesquisa e nos relatórios futuros, utilizando códigos específicos para a geração e análise de dados. De forma alguma haverá exposição da identidade dos participantes.

5. Riscos e Benefícios.

5a) Riscos: Pesquisas com coletas de dados sobre o ensino e aprendizagem geram riscos mínimos, geralmente relacionados a um possível desconforto ou receio de constrangimento durante a observação. Para eliminar ou reduzir esses riscos, o(a) estudante será informado sobre todos os procedimentos da atividade e poderá solicitar, a qualquer momento, que parte ou toda a informação coletada sobre ele(a) não seja utilizada na pesquisa. Além disso, ele(a) poderá solicitar para sair da pesquisa sem precisar dar explicações e sem prejuízos a qualquer tempo.

5b) Benefícios: Ao participar deste estudo o(a) estudante terá a possibilidade de aumentar seus conhecimentos sobre os temas relacionados à ciência contemporânea, desenvolvendo habilidades cognitivas de construção de representações mentais a partir da mediação digital no ensino. Além disso, ele(a) contribuirá para o desenvolvimento das Ciências Humanas na área educacional, uma vez que os resultados desta pesquisa possibilitarão ampliar o conhecimento científico atual sobre a utilização de tecnologias digitais no processo ensino-aprendizagem das aulas de ciências na educação básica. Pretende-se com este estudo, também, contribuir para o desenvolvimento de algumas competências previstas na Base Nacional Curricular Comum, como: Valorizar e utilizar os conhecimentos historicamente construídos sobre o mundo físico, social cultural e digital para entender e explicar a realidade, continuar aprendendo e colaborar para a construção de uma sociedade justa, democrática e inclusiva; Exercitar a curiosidade intelectual e recorrer à abordagem própria das ciências, incluindo a investigação, a reflexão, a análise crítica, a imaginação e a criatividade, para investigar causas, elaborar e testar hipóteses, formular e resolver problemas e criar soluções (inclusive tecnológicas) com base nos conhecimentos das diferentes áreas; Utilizar diferentes linguagens

– verbal (oral ou visual-motora, como Libras, e escrita), corporal, visual, sonora e digital –, bem como conhecimento das linguagens artística, matemática e científica, para se expressar e partilhar informações, experiências, ideias e sentimentos em diferentes contextos e produzir sentidos que levem ao entendimento mútuo; Compreender, utilizar e criar tecnologias digitais de informação e comunicação de forma crítica, significativa, reflexiva e ética nas diversas práticas sociais (incluindo as escolares) para se comunicar, acessar e disseminar informações, produzir conhecimentos, resolver problemas e exercer o protagonismo e autoria na vida pessoal e coletiva; Argumentar com base em fatos, dados e informações confiáveis, para formular, negociar e defender ideias, pontos de vista e decisões comuns que respeitem e promovam os direitos humanos, a consciência socioambiental e o consumo responsável em âmbito local, regional e global, com posicionamento ético em relação ao cuidado de si mesmo, dos outros e do planeta.

6. Critérios de inclusão e exclusão.

6a) Inclusão: Estarão incluídos nesta pesquisa estudantes regularmente matriculados no 9º ano da Escola Municipal Albert Schweitzer, Curitiba, com faixa etária média de 14 anos, presentes nos dias das atividades.

6b) Exclusão: Estudantes regularmente matriculados no 9º ano da Escola Municipal Albert Schweitzer, Curitiba, com faixa etária média de 14 anos, que estiverem afastados da aula no momento das atividades. Os estudantes que se negarem a participar ou que os responsáveis legais não permitam sua participação, assistirão as aulas previstas na sequência didática, uma vez que o conteúdo abordado faz parte do Currículo Municipal de Ensino de Curitiba e a pesquisa ocorrerá durante a rotina normal das aulas de ciências, mas não terão seus dados coletados para os fins desta pesquisa.

7. Direito de sair da pesquisa e a esclarecimentos durante o processo.

Se por acaso, em qualquer momento do desenvolvimento desta pesquisa, você se sentir constrangido por qualquer motivo, você poderá solicitar informações adicionais sobre o desenvolvimento das atividades ou sobre a coleta de dados. Além disso, você poderá solicitar para sair da pesquisa sem precisar dar explicações e sem prejuízos a qualquer tempo. Os resultados dessa pesquisa serão apresentados em uma tese de doutorado que estará disponível para o público em geral no repositório institucional da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, após a sua conclusão. Caso você tenha interesse em receber os resultados por e-mail, por favor assinale a opção abaixo:

- quero receber os resultados da pesquisa (email para envio : _____)
- não quero receber os resultados da pesquisa

8. Ressarcimento e indenização.

Para o desenvolvimento desta pesquisa NÃO haverá custo para os participantes, uma vez que se dará na rotina escolar deles. Ainda, nesta pesquisa está prevista indenização para reparação de possíveis danos, conforme item II.7 da Resolução 466/2012 do Conselho Nacional de Saúde.

ESCLARECIMENTOS SOBRE O COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA:

O Comitê de Ética em Pesquisa envolvendo Seres Humanos (CEP) é constituído por uma equipe de profissionais com formação multidisciplinar que está trabalhando para assegurar o respeito aos seus direitos como participante de pesquisa. Ele tem por objetivo avaliar se a pesquisa foi planejada e se será executada de forma ética. Se você considerar que a pesquisa não está sendo realizada da forma como você foi informado ou que você está sendo prejudicado de alguma forma, entre em contato com o Comitê de Ética em Pesquisa

envolvendo Seres Humanos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (CEP/UTFPR).
Endereço: Av. Sete de Setembro, 3165, Bloco N, Térreo, Bairro Rebouças, CEP 80230-901, Curitiba-PR, **Telefone:** (41) 3310-4494, **e-mail:** coep@utfpr.edu.br.

B) CONSENTIMENTO (do participante de pesquisa ou do responsável legal – neste caso anexar documento que comprove parentesco/tutela/curatela)

Eu declaro ter conhecimento das informações contidas neste documento e ter recebido respostas claras às minhas questões a propósito da participação direta (ou indireta) do estudante do qual sou responsável legal na pesquisa e, adicionalmente, declaro ter compreendido o objetivo, a natureza, os riscos, benefícios, ressarcimento e indenização relacionados a este estudo.

Após reflexão e um tempo razoável, eu decidi, livre e voluntariamente, participar deste estudo, permitindo que os pesquisadores relacionados neste documento obtenham **fotografia, filmagem ou gravação de voz** do(a) estudante do qual sou responsável legal para fins de pesquisa científica/ educacional. As fotografias, vídeos e gravações ficarão sob a propriedade do grupo de pesquisadores pertinentes ao estudo e sob sua guarda. Concordo que o material e as informações obtidas relacionadas ao estudante do qual sou responsável legal possam ser publicados em aulas, congressos, eventos científicos, palestras ou periódicos científicos. Porém, ele(a) não deve ser identificado por nome ou qualquer outra forma.

Estou consciente que ele(a) pode deixar o projeto a qualquer momento, sem nenhum prejuízo. Após reflexão e um tempo razoável, eu decidi, livre e voluntariamente, permitir a participação do estudante do qual sou responsável legal neste estudo.

Nome Completo: _____
 RG: _____ Data de Nascimento: ___/___/____ Telefone: _____
 Endereço: _____
 CEP: _____ Cidade: _____ Estado: _____
 Assinatura: _____ Data: ___/___/____

Eu declaro ter apresentado o estudo, explicado seus objetivos, natureza, riscos e benefícios e ter respondido da melhor forma possível às questões formuladas.

Nome completo: _____
 Assinatura pesquisador: _____ Data: ___/___/___ (ou seu representante)

Para todas as questões relativas ao estudo ou para se retirar do mesmo, poderão se comunicar com Ronnie Petter Pereira Zanatta, via e-mail: rppzanatta@gmail.com ou telefone: (41) 9XXXXXX1.

Contato do Comitê de Ética em Pesquisa que envolve seres humanos para denúncia, recurso ou reclamações do participante pesquisado:

Comitê de Ética em Pesquisa que envolve seres humanos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (CEP/UTFPR)

Endereço: Av. Sete de Setembro, 3165, Bloco N, Térreo, Rebouças, CEP 80230-901, Curitiba-PR, **Telefone:** 3310-4494, **E-mail:** coep@utfpr.edu.br

APÊNDICE 05 - DECLARAÇÃO DE CIÊNCIA DE INTERESSE DE CAMPO DE PESQUISA



*Prefeitura Municipal de Curitiba
Secretaria Municipal da Saúde
Centro de Educação em Saúde
Comitê de Ética em Pesquisa*

Curitiba, 05 de março de 2021.

DECLARAÇÃO DE CIÊNCIA DE INTERESSE DE CAMPO DE PESQUISA

O Departamento de Ensino Fundamental da Secretaria Municipal da Educação está ciente do interesse do pesquisador Ronnie Petter Pereira Zanatta, na realização da pesquisa: *Implicações da mediação digital no processo ensino-aprendizagem de Física Moderna e Contemporânea em estudantes do Ensino Fundamental a partir de uma perspectiva não-moderna.*

Ressaltamos que há obrigatoriedade de aprovação em Comitê de Ética da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR e parecer de viabilidade do Comitê de Ética da Secretaria Municipal da Saúde como Instituição Coparticipante, conforme fluxos instituídos na SMS Curitiba e de acordo com a Resolução 466/12 do Conselho Nacional de Saúde/MS.

Por ser verdade firmamos a presente.

Atenciosamente,

Simone Zampier da Silva
Diretora
Departamento de Ensino Fundamental
Secretaria Municipal da Educação de Curitiba