



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

DHYMMI SAMUEL VERGENNES

**DIVERSIDADE REPRESENTACIONAL NO ENSINO DE
FÍSICA: UM ESTUDO FUNDAMENTADO NOS CONCEITOS
DE *AFFORDANCE*, MULTIMODALIDADE E SEMIÓTICA
ACERCA DA PRODUÇÃO DE EQUÍVOCOS**

Londrina
2024

DHYMMI SAMUEL VERGENNES

**DIVERSIDADE REPRESENTACIONAL NO ENSINO DE
FÍSICA: UM ESTUDO FUNDAMENTADO NOS CONCEITOS
DE *AFFORDANCE*, MULTIMODALIDADE E SEMIÓTICA
ACERCA DA PRODUÇÃO DE EQUÍVOCOS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Eduardo Laburú

Londrina
2024

V495d Vergennes, Dhyymi Samuel.

Diversidade representacional no ensino de física : um estudo fundamentado nos conceitos de affordance, multimodalidade e semiótica acerca da produção de equívocos / Dhyymi Samuel Vergennes. - Londrina, 2024.
147 f. : il.

Orientador: Carlos Eduardo Laburú.

Tese (Doutorado em Ensino de Ciências e Educação Matemática) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Exatas, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática, 2024.
Inclui bibliografia.

1. Multimodalidade Representacional - Tese. 2. Affordance - Tese. 3. Semiótica - Tese. 4. Ensino de Física - Tese. I. Laburú, Carlos Eduardo. II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Exatas. Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática. III. Título.

CDU 37

DHYMMI SAMUEL VERGENNES

**DIVERSIDADE REPRESENTACIONAL NO ENSINO DE
FÍSICA: UM ESTUDO FUNDAMENTADO NOS CONCEITOS
DE *AFFORDANCE*, MULTIMODALIDADE E SEMIÓTICA
ACERCA DA PRODUÇÃO DE EQUÍVOCOS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. Carlos Eduardo Laburú
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Prof. Dr. Paulo Sérgio de Camargo Filho
Universidade Tecnológica Federal do Paraná –
UTFPR/Londrina

Prof. Dr. Osmar Henrique Moura da Silva
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Prof. Dr. Arquimedes Luciano
Universidade Estadual de Maringá – UEM

Profa. Dra. Josiane Letícia Hernandez
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Londrina, 29 de abril de 2024.

Dedico o presente trabalho aos que com alegria compartilhada, apoio caloroso e valiosas orientações contribuíram para o meu crescimento pessoal e profissional.

Família e amigos, essa é pra vocês!

AGRADECIMENTOS

A Deus

Pela vida, pelas oportunidades incríveis e pelos obstáculos desafiadores, que de alguma forma revelaram-se rodeados de bençãos e propósitos.

À família e amigos

Que no aconchego do lar e da presença transformaram e ainda transformam o meu mundo em lugar maravilhoso para se viver.

Ao meu estimado orientador, professor Dr. Carlos Eduardo Laburú

Pela parceria desenvolvida. Sempre presente, rigoroso, justo, e pronto para refinar ideias, indicou caminhos pelos quais avancei com propósito e dedicação, que para além de entendimentos das coisas do mundo, foi uma jornada de autoconhecimento.

Aos membros da banca

Mais do que queridos. Sou grato pelas orientações de qualidade, tempo disponibilizado, atenção e forte entusiasmo pelo trabalho alheio.

Aos integrantes do grupo de pesquisa e do PECEM

Pelas dicas e momentos de inspiração vivenciados.

Ao pessoal da secretaria da Pós-Graduação

Pelas excelentes informações e orientações, sempre rápidas e precisas.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

Pelo apreciado e bem utilizado apoio financeiro.

Fortis in arduis.

VERGENNES, Dhymmi Samuel. **Diversidade representacional no ensino de física**: um estudo fundamentado nos conceitos de *affordance*, multimodalidade e semiótica acerca da produção de equívocos. 2024. 147p. Trabalho de Conclusão de Curso (Doutorado em Ensino de Ciências e Educação Matemática) – Universidade Estadual de Londrina (PECEM), Londrina, 2024.

RESUMO

A percepção que temos do mundo, de suas possibilidades e limitações, molda e orienta toda ação humana, coletiva e individual. Porém, equívocos podem gerar situações problemáticas, inclusive no âmbito escolar. Eventualmente, as más interpretações dos estudantes não são identificadas – seja pelo docente, ou então pelo próprio aprendiz – o que inviabiliza uma abordagem didática efetiva. Logo, os desvios de interpretação não corrigidos passam a funcionar para o aprendiz como saberes aparentemente coerentes. As consequências que implicam de um acúmulo progressivo de noções desviantes acerca dos conteúdos estudados em sala de aula vão desde o baixo desempenho em avaliações escolares até o exercício de atitudes indevidas no plano social. A geração de compreensões acerca das origens e dos principais aspectos que definem os obstáculos educacionais que examinamos, demandou uma articulação teórica flexível que permitiu determinar as tramas de relações responsáveis pela produção dos equívocos. Ao examinar – sob uma lente semiótica – cada situação de desvio interpretativo, possibilitado e restringido de acordo com uma diversidade representacional capaz de influenciar o que o ambiente propicia (*affordances*), incluímos o presente estudo em um programa de pesquisa já consolidado, centrado no ensino de física. Ao se retomar os conceitos de interesse ao longo dos encaminhamentos teóricos, em paralelo, os exemplos e as discussões apresentadas além de configurarem parte dos resultados da pesquisa, também fundamentaram a validade e a estrutura do instrumento analítico semiótico empregado no exame das situações didáticas selecionadas. Os equívocos investigados foram induzidos por *affordances* negativos que emergiram ao longo do processo instrucional, para o ensino médio. Para além de experimentos, instrumentos e documentários, o estudo de outras modalidades representacionais permitiu identificar novas situações geradoras de distorções de aprendizagem. A análise dos efeitos da multimodalidade no ambiente escolar, com base em aspectos dos estudantes e do contexto de instrução, possibilitou identificar, descrever e justificar as relações entre as características representacionais (*affordances* negativos) indutoras de equívocos, em diferentes circunstâncias. Por fim, ao elucidarmos casos típicos de equívocos induzidos por *affordances* negativos no ensino de física, esperamos que as reflexões propostas apoiem o progresso da educação científica nas escolas, ao oferecer aos profissionais da educação e produtores de conteúdos com propensão didática, maneiras para identificar, compreender e superar os equívocos provocados por *affordances* negativos, que apesar de sutis, aparentemente banais e tácitos, caso não sejam sanados podem acompanhar o estudante por toda sua vida.

Palavras-chave: Ensino de Física. *Affordances* Negativos. Semiótica. Multimodos e Múltiplas Representações. Produção de equívocos.

VERGENNES, Dhymmi Samuel. **Representational diversity in physics teaching: a study based on the concepts of affordance, multimodality and semiotics about the production of mistakes.** 2024. 147p. Trabalho de Conclusão de Curso (Doutorado em Ensino de Ciências e Educação Matemática) – Universidade Estadual de Londrina (PECEM), Londrina, 2024.

ABSTRACT

The perception we have of the world, its possibilities and limitations, shapes and guides all human action, collective and individual. However, mistakes can generate problematic situations, including at school. Eventually, students' misinterpretations are not identified – either by the teacher or by the learner himself – which makes an effective teaching approach unfeasible. Therefore, uncorrected deviations in interpretation begin to function for the learner as apparently coherent knowledge. The consequences of a progressive accumulation of deviant notions about the content studied in the classroom range from low performance in school assessments to the exercise of undue attitudes on a social level. The generation of understandings about the origins and main aspects that define the educational obstacles that we examined, required a flexible theoretical articulation that allowed us to determine the relations webs responsible for the production of mistakes. By examining – under a semiotic lens – each situation of interpretative deviation enabled and restricted according to a representational diversity capable of influencing what the environment provides (affordances), we included the present study in an already consolidated research program, centered on the teaching of physical. When resuming the concepts of interest throughout the theoretical directions, in parallel the examples and discussions presented, in addition to configuring part of the research results, also supported the validity and structure of the semiotic analytical instrument used in the examination of the selected didactic situations. The misconceptions investigated were induced by negative affordances that emerged throughout the instructional process, for high school. In addition to experiments, instruments and documentaries, the study of other representational modalities made it possible to identify new situations that generate learning distortions. The analysis of the effects of multimodality in the school environment, based on aspects of the students and the instructional context, made it possible to identify, describe and justify the relationships between the representational characteristics (negative affordances) that induce mistakes, in different circumstances. Finally, by elucidating typical cases of misunderstandings induced by negative affordances in physics teaching, we hope that the proposed reflections support the progress of science education in schools, by offering education professionals and content producers with a didactic propensity, ways to identify, understand and overcome the mistakes caused by negative affordances, which despite being subtle, apparently banal and tacit, if not remedied can accompany the student throughout their life.

Key words: Physics Teaching. Negative Affordances. Semiotics. Multimodes and Multiple Representations. Production of mistakes.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Representação de um ímã em forma de barra e de linhas do campo magnético orientadas por setas (campo magnético gerado nas proximidades).....	83
Figura 2 – Um canudo e uma caneta, ambos aderidos à parede	87
Figura 3 – Uma atiradeira produzida com couro, formada por duas tiras compridas conectadas a uma pequena “bolsa” para o alojamento dos projéteis	91
Figura 4 – Conexões entre <i>protoboard</i> e arduino, com destaque à direita para um <i>jumper</i> dobrado (fio condutor roxo)	95
Figura 5 – Ilustração de um carro em dois momentos, com destaques para a posição e o tempo de saída e chegada.....	99
Figura 6 – Representação do ciclo operacional do mecanismo denominado <i>passarinho que bebe água</i> ou <i>pássaro sedento</i>	105
Figura 7 – <i>Zooms</i> de <i>prints</i> referentes à simulação de uma detonação nuclear ...	118
Figura 8 – Análise conceitual do capítulo de livro <i>Perspectiva conceitual de affordance na literatura nacional: área de ensino</i> (Vergennes e Laburú (2022).....	142
Figura 9 – Análise conceitual do artigo <i>Affordances dos materiais como indutores de equívocos durante experimentos para o ensino de física</i> (Laburú; Silva; Zômpero, 2017).....	143
Figura 10 – Análise conceitual do artigo <i>Instrumentação em educação científica e o convite ao erro: uma leitura a partir do referencial de affordances</i> (Silva; Laburú, 2017).....	144
Figura 11 – Análise conceitual do artigo <i>Affordances negativos em documentários de história da física como indutores de equívocos de interpretação de estudantes</i> (Laburú; Silva; Camargo Filho; Zômpero, 2023)	145
Figura 12 – Análise conceitual da tese <i>Identificação e superação dos equívocos conceituais e procedimentais provocados por affordances negativos no processo de ensino e aprendizagem de química</i> (Gregório, 2021)	146
Figura 13 – Análise conceitual da tese <i>Leitura semiológica de analogias pictóricas utilizadas no ensino de química</i> (Hernandes, 2023).....	147

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Informações acerca do levantamento bibliográfico desenvolvido em Vergennes e Laburú (2022).....	25
Quadro 2 – Informações referentes ao ano, instituição, turma, número de aprendizes por turma, nome da disciplina, aulas por semana e existência de laboratório	75
Quadro 3 – Códigos utilizados, significados e observações.....	78
Quadro 4 – Informações referentes aos dados analisados	80
Quadro 5 – Estrutura descritiva contextual e analítica dos dados e informações....	81
Quadro 6 – Detalhamento do contexto curricular acerca da situação didática 1	82
Quadro 7 – Detalhamento do contexto curricular acerca da situação didática 2	86
Quadro 8 – Detalhamento do contexto curricular acerca da situação didática 3.....	90
Quadro 9 – Detalhamento do contexto curricular acerca da situação didática 4	94
Quadro 10 – Detalhamento do contexto curricular acerca da situação didática 5 ...	99
Quadro 11 – Detalhamento do contexto curricular acerca da situação didática 6 .	104
Quadro 12 – Detalhamento do contexto curricular acerca da situação didática 7 .	117

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

DDP	Diferença de Potencial
EC	Ensino de Ciências
EM	Educação Matemática
MCU	Movimento Circular Uniforme
N	Norte
S	Sul
TIC	Tecnologias da Informação e Comunicação
3D	Três Dimensões
2D	Duas Dimensões

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	REFLEXÕES PARA O ENSINO DE FÍSICA EM RELAÇÃO AOS ESPAÇOS ESCOLARES, A PERCEPÇÃO VISUAL E O COMPORTAMENTO HUMANO	18
2.1	CONCEITO ORIGINAL DE <i>AFFORDANCE</i>	18
2.2	ESPAÇOS ESCOLARES	22
2.3	CONCEITUAÇÕES DE <i>AFFORDANCE</i> NA ÁREA DE ENSINO	25
3	ELEMENTOS DE SEMIÓTICA E A PRODUÇÃO DE SIGNIFICADOS EM FÍSICA	29
3.1	FUNDAMENTOS DA SEMIÓTICA NO ENSINO DE FÍSICA	29
3.1.1	Múltiplos Significados	29
3.1.2	Vertentes Semióticas	31
3.1.3	O Conceito de Ambiguidade.....	32
3.1.4	Postulado do Potencial Comunicativo	35
3.1.5	Enunciações.....	36
3.1.6	Decodificação Aberrante	37
3.2	PRÁTICAS SEMIÓTICAS E PRODUÇÃO DE SIGNIFICADOS EM FÍSICA	40
3.2.1	Processo de Ensino, Avaliação e Aprendizagem	41
3.2.2	Processo Instrucional de Física.....	42
3.2.3	Registros de Representação Semiótica e Aprendizagem	44
3.2.4	Semiótica, Aprendizagem em Física e o Desenvolvimento de Atividades Cognitivas.....	46
4	REPRESENTAÇÕES E APRENDIZAGEM	48
4.1	REPRESENTAR PARA APRENDER FÍSICA.....	48
4.2	FOCO REPRESENTACIONAL PARA A APRENDIZAGEM	52
4.3	PEDAGOGIA FOCADA NA CONSTRUÇÃO DE REPRESENTAÇÕES EM FÍSICA.....	56
4.4	SEQUÊNCIAS DE DESAFIOS REPRESENTACIONAIS.....	59
4.5	RELAÇÕES ENTRE RESTRIÇÕES REPRESENTACIONAIS E APRENDIZAGEM.....	61
4.6	PROCESSOS DE RACIOCÍNIO E A CONSTRUÇÃO DE REPRESENTAÇÕES	65
4.7	MODELOS DA REALIDADE E O ENSINO DE FÍSICA.....	67
5	ENCAMINHAMENTOS METODOLÓGICOS	72
6	ANÁLISE DOS DADOS E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	82

7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	126
	REFERÊNCIAS	130
	APÊNDICES	141
	APÊNDICE A – Análise conceitual do capítulo de livro <i>Perspectiva conceitual de affordance na literatura nacional: área de ensino</i> (Vergennes e Laburú (2022))	142
	APÊNDICE B – Análise conceitual do artigo <i>Affordances dos materiais como indutores de equívocos durante experimentos para o ensino de física</i> (Laburú; Silva; Zômpero, 2017)	143
	APÊNDICE C – Análise conceitual do artigo <i>Instrumentação em educação científica e o convite ao erro: uma leitura a partir do referencial de affordances</i> (Silva; Laburú, 2017)	144
	APÊNDICE D – Análise conceitual do artigo <i>Affordances negativos em documentários de história da física como indutores de equívocos de interpretação de estudantes</i> (Laburú; Silva; Camargo Filho; Zômpero, 2023)	145
	APÊNDICE E – Análise conceitual da tese <i>Identificação e superação dos equívocos conceituais e procedimentais provocados por affordances negativos no processo de ensino e aprendizagem de química</i> (Gregório, 2021)	146
	APÊNDICE F – Análise conceitual da tese <i>Leitura semiológica de analogias pictóricas utilizadas no ensino de química</i> (Hernandes, 2023)	147

1 INTRODUÇÃO

A maneira como o mundo é percebido e o que se pode realizar a partir disso interfere em toda ação humana individual e coletiva (Gibson, 1986). As noções resultantes – supostamente válidas – influenciam na tomada de decisões cruciais. Porém, eventuais equívocos podem inclusive comprometer a sobrevivência. Cada sujeito assume riscos para sua vida ao confiar em conjecturas relativas ao funcionamento da realidade, para então proceder com suas atividades cotidianas.

No âmbito escolar, apesar das estratégias e dos esforços aplicados pelos profissionais da educação, a presença de equívocos ainda persiste. Parte das más interpretações dos estudantes permanecem no plano da subjetividade, e acabam por escapar do radar analítico de docentes preocupados com um considerável número de parâmetros concernentes ao processo instrucional. As demandas educacionais envolvidas – em um processo contínuo, dinâmico e burocrático – inviabilizam a elaboração de noções precisas acerca dos desvios interpretativos manifestos durante a instrução dos conteúdos de física, o que impede um atendimento em conformidade com as particularidades de cada situação didática.

Ao longo do processo formativo, seja por intermédio de docentes e colegas, ou então, mediante pesquisas particulares e afins, almeja-se que os estudantes superem suas dificuldades e sanem eventuais entendimentos divergentes. No entanto, os desvios de interpretação não resolvidos gradativamente se vinculam à estrutura cognitiva. As consequências procedentes (e.g., baixo desempenho e falta de competências e habilidades essenciais) se revelam em curto (avaliações escolares), médio (vestibulares e concursos) e longo prazo (impactos nas atitudes *em* e *para* a sociedade). A problemática delineada indica a necessidade de abordagens coerentes com a realidade escolar brasileira, que estimulem uma participação ativa dos estudantes, o que por sua vez tem potencial para favorecer a emergência de entendimentos subjetivos.

Os equívocos representam um tipo de obstáculo educacional. Por se tratarem de eventos multifatoriais compreendê-los implica em considerar uma pluralidade de indicadores, caso a caso, nos momentos em que ocorrem. Em uma dimensão mais objetiva, demandam por estudos e aprofundamentos que resultem em modelos explicativos coerentes, dos quais derivem alternativas efetivas de

intervenção instrucional.

Ao se considerar semioticamente os referidos desvios de interpretação pela perspectiva dos multimodos e múltiplas representações, a presente pesquisa se insere em um programa de investigação já consolidado na literatura especializada (Laburú; Silva; Zômpero, 2017; Silva; Laburú, 2017; Tytler; Prain; Hubber; Waldrip, 2013). Parte dos avanços propostos nos estudos citados acima, permitem compreender as relações entre os fatores causadores de equívocos nos estudantes, para um conjunto específico de situações instrucionais, em diferentes níveis de ensino.

O surgimento de uma interpretação desviante pode ser entendido com base na produção de um significado. O tipo de equívoco investigado na presente pesquisa resulta da combinação entre fatores contextuais e determinadas características representacionais do ambiente – na perspectiva de cada estudante considerado – da qual emerge um desalinhamento de coerência com a realidade, a representação e/ou o modelo (Tytler; Prain; Hubber; Waldrip, 2013) abordado instrucionalmente. O surgimento de entendimentos divergentes tácitos pode implicar na construção de conhecimentos inconsistentes com a componente curricular de ensino, caso não sejam elucidados.

As teorias apresentadas e discussões propostas suportam a pesquisa em quatro pontos principais. De modo geral, envolvem elementos conceituais do campo da semiótica, argumentações relativas ao emprego de multimodos e múltiplas representações no ensino de física e suas implicações, e a teoria dos *affordances*. Nos encaminhamentos teóricos, ao se retomar parte dos avanços disponíveis na literatura especializada, a articulação de discussões contextualizadas com a problemática foi desenvolvida em paralelo. Ou seja, parte dos resultados encontra-se nos capítulos teóricos, nos quais se retoma os tópicos de interesse e se avança em conhecimento com a proposição de aprofundamentos, em busca de marcar a originalidade da pesquisa (Bardin, 2011). Assim, além de atribuir forma e validade ao instrumento analítico semiótico (com base nos conceitos de *affordance* (Gibson, 1986), unidade de significado (Duval, 2009), decodificação aberrante (Vollí, 2012) e multimodalidade (Prain; Tytler, 2012; Tytler; Prain; Hubber; Waldrip, 2013; Tytler; Prain, 2010)), tais abordagens foram empregadas diretamente na análise das situações didáticas e nas reconsiderações quanto aos processos instrucional e investigativo (adequação de concepções didáticas, pedagógicas,

epistemológicas, estratégicas, avaliativas, perceptivas, cognitivas e de planejamento (Prain; Tytler, 2012; Tytler; Prain; Hubber; Waldrip, 2013; Tytler; Prain, 2010)).

De acordo com o exposto no parágrafo anterior, argumenta-se que a teoria com que se estuda a prática deve ser compatível com a prática que se estuda. Desse modo, os ajustamentos de perspectiva maximizaram a qualidade dos resultados obtidos. Ou seja, a teoria utilizada na análise dos dados também foi aplicada no processo instrucional, o que atuou na redução do tipo de equívoco investigado. Tal decisão corroborou o pressuposto teórico de que a ocorrência de significados divergentes pode ser reduzida, mas não eliminada, ao ponto de conservar a legitimidade dos dados e dos procedimentos analíticos desenvolvidos.

A abordagem de tópicos como os tipos de raciocínio na construção de modelos no ensino de física e o conceito de *affordance* em pesquisas nacionais com foco na área de ensino, permitiram compreender e situar aspectos relevantes à pesquisa. Outros temas pertinentes foram a comunicação em uma perspectiva semiótica, aspectos do processo de ensino, avaliação e aprendizagem em física e a semelhança quanto a natureza dos conhecimentos científico e escolar.

O tipo de equívoco investigado é induzido por um ou mais *affordances* negativos (Laburú; Silva; Camargo Filho; Zômpero, 2023; Laburú; Silva; Zômpero, 2017; Silva; Laburú, 2017). Tais obstáculos para uma aprendizagem de qualidade em física provocam noções desviantes – devido às características de representações multimodais – nos estudantes que com elas interagem. A interpretação que resulta de cada interação varia de acordo com as informações disponíveis no ponto de observação (matriz óptica ambiente), dos saberes do estudantes (enciclopédia) e do contexto vivenciado. Ou seja, para cada interação haverá a produção de interpretações particulares e únicas, ainda que eventualmente sejam semelhantes entre si.

Ao longo processo instrucional em sala de aula foram identificadas diferentes situações didáticas contendo equívocos induzidos por *affordances* negativos. Com base nas informações e dados coletados, investigou-se quais as principais relações entre as características representacionais que contribuíram para a manifestação desse tipo específico de desvio interpretativo. E ainda, como tais relações se justificam semioticamente. O objetivo estabelecido consistiu em identificar, descrever e, por fim, justificar as principais relações entre as características representacionais (*affordances* negativos) em um conjunto de

representações em multimodos indutoras de equívoco, produzidas ao longo das aulas previstas no currículo para a instrução de conteúdos de física (ver quadro 2, p.75-76).

Por fim, os resultados da presente pesquisa envolvem estratégias para identificação, descrição e justificação de equívocos gerados por *affordances* negativos. Assim, argumenta-se que tal perspectiva de abordagem contribua para que professores de física, assim como de outras componentes curriculares, ou então, desenvolvedores de materiais com propensão didática e afins, ampliem suas concepções em relação a esse tipo sutil de obstáculo educacional por vezes ignorado, mas ainda assim persistente, capaz de prejudicar a qualidade dos conhecimentos construídos pelos estudantes.

Nos capítulos dois, três e quatro trataremos, respectivamente, a teoria dos *affordances*, um conjunto de elementos de semiótica acerca da produção de significados e a perspectiva dos multimodos e múltiplas representações no ensino de física e suas implicações. Na sequência, seguem os encaminhamentos metodológicos, as análises de situações didáticas e suas respectivas discussões, e por fim, as considerações finais.

2 REFLEXÕES PARA O ENSINO DE FÍSICA EM RELAÇÃO AOS ESPAÇOS ESCOLARES, A PERCEPÇÃO VISUAL E O COMPORTAMENTO HUMANO

No capítulo dois trataremos as relações entre os espaços escolares e os que neles habitam, a percepção visual envolvida e sua influência no comportamento adotado por estudantes de física. Primeiramente, apresentamos o conceito original de *affordance*, cuja interpretação proposta volta-se à abordagem de situações instrucionais. Na sequência, são apresentados estudos fundamentados pela perspectiva conceitual de *affordance* – publicados em periódicos nacionais voltados à área de ensino. Uma atenção especial é direcionada aos trabalhos nos quais a aplicação do conceito de *affordance* negativo fundamentou a análise de equívocos (em estudantes) provocados pela combinação de características representacionais em multimodos. As reflexões propostas destacam aspectos próprios do ambiente escolar, das atividades realizadas ao longo dos anos letivos considerados e dos estudantes envolvidos.

2.1 CONCEITO ORIGINAL DE *AFFORDANCE*

Em sua obra *A Abordagem Ecológica da Percepção Visual*, publicada pela primeira vez em 1977, James Jerome Gibson (1904-1979), renomado psicólogo em sua época, propôs inovações no campo da Psicologia. A influência de suas argumentações o tornou um dos pioneiros de uma vertente de estudo acerca da percepção visual e do comportamento humano.

O conceito de *affordance* (Gibson, 1986) representa um importante recorte de uma teoria mais geral, cuja validade estende-se aos ambientes instrucionais. Os termos *afford*, *affordable* e *affordability* são encontrados em dicionários norte-americanos ou em dicionários de tradução linguística. Todavia, procedeu-se mais recentemente a incorporação do termo *affordance* em dicionários como o *Webster's Third International New Dictionary* e o *Oxford English Dictionary*. A palavra *affordance* origina-se a partir da substantivação do verbo *to afford*. Sua primeira menção ocorreu na obra *Os Sentidos Considerados como Sistemas Perceptivos*, em Gibson (1966). No entanto, o significado atribuído atualmente foi reformulado anos mais tarde. Por não haver consenso na literatura especializada quanto à tradução do termo *affordance*, existem distintas versões para o idioma

português, e.g., “disponibilização” (Mendonça, 2014), “facilitação” (Miroli, 2018). Porém, adotaremos o termo “oferecimento” por tradução livre.

No ano de 1977 o conceito de *affordance* passa a integrar uma nova perspectiva psicológica fundamentada na Ecologia Humana, i.e., a Psicologia Ecológica, em que a percepção e o comportamento passam a ser tratados com base na matriz óptica ambiente (Gibson, 1986). A matriz óptica ambiente consiste na informação luminosa organizada e distribuída pelo ambiente – diferente em cada ponto de observação – percebida visualmente e utilizada pelo observador para sua orientação.

A mobilidade do organismo pelo espaço permite intencionalidade na variação das informações visuais, conforme move-se em torno de um objeto e aprecia-o de uma diversidade de perspectivas. A *visão natural* corresponde à condição visual de um observador apto a se mover livremente, que ao identificar algo que lhe chame à atenção age para superar eventuais obstáculos, e então, se move em direção ao seu objetivo e o observa de diferentes perfis (Gibson, 1986). Nesse sentido, o “saber o que fazer” configura um tipo de conhecimento “aderente”. Uma possível definição para essa ideia de conhecimento reflete a emergência de uma noção imediata e direta por meio da observação parcial e variável de aspectos do ambiente em torno do sujeito, o que gera um ímpeto para a ação subsequente, mesmo que não seja executada no momento de sua identificação, mas dentro de um quadro de possibilidades delimitado pelas especificidades das características, capacidades e habilidades individuais (Gibson, 1986).

A percepção passa a ser compreendida como uma prática ativa intrínseca, na qual cada observador – sensibilizado a partir de uma perspectiva visual exclusiva – utiliza as informações luminosas disponíveis para si, de modo a entender o ambiente onde ocorrem suas vivências, e não meramente um processo passivo no qual estímulos visuais são recebidos. Desse modo, o exercício da percepção visual implica em uma noção direta e imediata dos oferecimentos do ambiente ao sujeito, sem a necessidade de inferências ou processamentos cognitivos complexos (Gibson, 1986).

O ambiente funciona como uma estrutura configurada pela composição de uma diversidade de substâncias separadas por suas superfícies, ao formar o meio no qual os animais habitam (Gibson, 1986). O observador percebe as características ambientais aparentes, tais como, a forma, a distância, a cor, a textura

e a profundidade dos objetos, assim como dos outros seres vivos. Tal concepção corrobora a ideia de que o comportamento manifesto resulta da noção que cada sujeito possui do mundo com base em si, em relação ao que lhe é ofertado e restringido (Gibson, 1986).

Comumente, os animais terrestres permanecem próximos à interface ar-solo, onde podem respirar, utilizar seus sentidos e manter o equilíbrio, ou seja, realizar ações relevantes para a execução de outros comportamentos considerados mais elaborados, e.g., movimentações livres pelo ambiente e interações sociais. Assim, a concepção de *affordance* define os oferecimentos que surgem da relação entre as superfícies formadas pela sobreposição de substâncias, com possibilidades e restrições de uso aos sujeitos dessa interação (Gibson, 1986).

Por meio da visualização dos objetos, animais, estruturas, fenômenos, ou seja, dos aspectos que de alguma forma sensibilizam o sentido da visão, um conjunto de informações é diretamente percebido. Nesse instante, são definidas as noções relativas ao que o sujeito supõe ser possível em relação às restrições ambientais impostas. O ato de perceber visualmente uma série de superfícies em relação a si, consiste em perceber os oferecimentos do ambiente, de modo que tal conexão caracterize a existência dos *affordances* como externa ao observador (Gibson, 1986). Os valores e significados assim gerados são de um novo tipo (Gibson, 1986), pois não representam constructos formados mediante abstração, mas sim, emergem diretamente da relação entre o sujeito e o ambiente. De acordo com a teoria dos *affordances*, no ato da percepção direta das superfícies manifestam-se valores e significados em razão do estabelecimento de relações entre as informações luminosas captadas pela visão e as particularidades do sujeito. A noção instantânea resultante acerca das contingências em uma determinada região implica em potencial para a ação (Gibson, 1986). Em outras palavras, os *affordances* identificados pelos estudantes resultam em um tipo de saber tácito e espontâneo, não necessariamente correto, por meio do qual valoram aspectos e atribuem significados às situações e coisas do mundo, sem o desenvolvimento de reflexões prévias.

As superfícies visíveis são informativas, enquanto as partes ocultas ou internas de objetos e seres vivos são, geralmente, inacessíveis e não proporcionam informações ao observador. A observação em situações de baixa luminosidade e para distâncias relativamente grandes em termos visuais humanos,

implica em um déficit variável de informação (Gibson, 1986). No entanto, superfícies transparentes permitem acesso informativo às superfícies internas do objeto, e.g., situações estudadas ao se abordar o conceito de refração da luz e os órgãos de sapos da espécie *Nymphargus bejaranoi* (sapo de vidro).

No caso de superfícies translúcidas, tais como janelas e repartições, a identificação parcial de informação ainda permanece possível, e.g., as noções de cor, tamanho, movimento e silhueta de objetos e pessoas. Os fatores acima mencionados influenciam na identificação de *affordances*, e por isso devem ser considerados.

Os diferentes *affordances* identificados de acordo com suas “funcionalidades”, classificam-se em benéficos ou prejudiciais para a sobrevivência de quem os percebe. Uma outra classificação refere-se aos casos de equivocação (Gibson, 1986), nos quais *affordances* benéficos sejam percebidos como sendo prejudiciais, e vice-versa. Eis a fundamental relevância da percepção, pois sobreviver depende da qualidade dos comportamentos executados em cada circunstância. Assim, os *affordances* vinculam a percepção à ação, e ambas à cognição (Gibson, 1988; Gibson, 1986), em razão de envolverem valores e significados de uma natureza aparente e imediata.

Conforme mencionado acima, situações geradoras de erros (casos de equivocação) eventualmente manifestam-se, pois se existe informação disponível no ambiente para os *affordances* das coisas, também pode haver desinformação. Se a informação captada resulta em percepção, a desinformação recebida implica em uma percepção enganosa (Gibson, 1986).

Caso um *affordance* benéfico seja considerado como sendo um *affordance* prejudicial, eis uma oportunidade que foi desperdiçada devido a uma percepção enganosa, e.g., o abandono de um abrigo funcional antes de uma tempestade por ser aparentemente frágil. Se ao contrário, um *affordance* prejudicial for entendido como um *affordance* benéfico, o comportamento resultante implicará em situações nocivas ao sujeito, e.g., consumir um alimento venenoso visualmente semelhante a outro alimento nutritivo e saudável.

Com base na complementaridade entre sujeito e ambiente, por definição *affordances* são os oferecimentos do ambiente ao sujeito dessa interação. Nos termos do autor, “os *affordances* de um ambiente são o que ele oferece para o animal, o que ele provém ou fornece, tanto para o bem quanto para o mal” (Gibson,

1986, p. 127). A contingência entre percepção e ação, implica que os *affordances* do ambiente podem, ou não, ser percebidos, e ainda, podem, ou não, ser colocados em ação, no entanto, permanecerão disponíveis, pois são invariantes (Gibson, 1986). A ideia de invariância trata da condição de existência permanente dos *affordances* atrelada às estruturas dos objetos e seres vivos que as possibilitam, independentemente das necessidades do observador (Gibson, 1986). Para tudo o que existe, todos os possíveis *affordances* permanecem disponíveis, mesmo quando não identificados.

A tradução do texto original acerca da teoria dos *affordances*, as inspirações, a interpretação para os contextos escolares, as considerações e as exemplificações apresentadas evoluíram a partir de trabalhos anteriores (Vergennes; Camargo Filho; Salvi; Laburú, 2019; Vergennes; Camargo Filho, 2016; Vergennes; Laburú; Camargo Filho, 2021; Vergennes; Laburú, 2022; Vergennes, 2017; Vergennes, 2020). As ideias articuladas e exemplificações pertinentes ao conceito original de *affordance* fundamentam as considerações propostas a seguir.

2.2 ESPAÇOS ESCOLARES

Neste tópico, abordaremos o conceito de *affordance* com base em aspectos do processo instrucional escolar. As ideias apresentadas foram refinadas a partir de estudos anteriores (Vergennes; Camargo Filho; Salvi; Laburú, 2019; Vergennes, 2020), nos quais o conceito de *affordance* e suas implicações (Gibson, 1986) fundamentaram considerações acerca dos espaços escolares onde o ensino de física se desenvolve. A generalização desses resultados permite que outros modos representacionais, além do modo 3D (atividade experimental) investigado, sejam considerados.

Durante os períodos de instrução os aprendizes interagem com as superfícies do ambiente escolar e/ou de outras regiões pertinentes aos projetos instrucionais previstos pelo docente, de acordo com as diretrizes da instituição de ensino. Cada estudante terá a oportunidade de perceber um conjunto de *affordances*, particular ou parcialmente similar aos *affordances* percebidos pelos outros aprendizes, pois tais noções dependem de características particulares dos sujeitos envolvidos. Parte das possibilidades percebidas se enquadrará em benéficas ou prejudiciais, a depender de cada contexto e da atitude do estudante em

relação a tal contexto (Gibson, 1986).

Em investigações na área de ensino as concepções de *affordances* prejudiciais e benéficos fundamentam propostas para uma aprendizagem de qualidade. Existem perspectivas de estudo relacionadas com os *affordances* benéficos para a aprendizagem, enquanto outras pesquisas abordam como minimizar, antecipar e/ou problematizar tais situações, para a superação dos *affordances* prejudiciais à aprendizagem, denominados *affordances* negativos em trabalhos nos quais equívocos induzidos por características representacionais são investigados (Gregório, 2021; Hernandez, 2023; Laburú; Silva; Camargo Filho; Zômpero, 2023; Laburú; Silva; Zômpero, 2017; Silva; Laburú, 2017; Vergennes, 2017, 2020).

Em um ambiente escolar cada estudante normalmente percebe as contingências locais, a partir das quais adapta sua conduta, ao ponto de, geralmente, garantir sua integridade física e psíquica na tentativa de manter seu bem-estar geral, o que por sua vez influencia no processo de aprendizagem dos conteúdos estudados.

No desenvolvimento de atividades instrucionais baseadas na combinação de modos representacionais, os estudantes manifestam distintas atitudes em relação a aprendizagem – classificadas em quatro tipos (Vergennes; Camargo Filho; Salvi; Laburú, 2019; Vergennes, 2020) – indicadoras dos aspectos particulares que devem ser trabalhados, caso a caso, com especial atenção. Essa classificação permite melhor compreender a ocorrência dos *affordances* negativos, conforme os estudantes planejam, constroem e utilizam aparatos, mecanismos e modelos, usam ferramentas e materiais, interagem psíquica e fisicamente com os indivíduos e com o ambiente, assim como constroem seus conhecimentos disciplinares. Tais atitudes são descritas resumidamente a seguir:

Atitude proativa: permanecer atento aos eventos ao seu redor, perceber, pensar e agir adequadamente, de modo a evitar e/ou corrigir problemas e outras demandas pertinentes às atividades educacionais propostas e aos outros eventos do cotidiano escolar.

Atitude negligente: a falta de atenção, o desmazelo, o desleixo.

Atitude imprudente: a pressa, a precipitação, a impaciência.

Atitude imperita: a inaptidão, a incompetência, a inexperiência.

As atitudes mencionadas acima podem surgir em diferentes

composições para um mesmo estudante. Por exemplo, a realização de um procedimento equivocado com base em uma noção desviante acerca das orientações do professor e/ou do material instrucional, induz o estudante a cumprir etapas de modo inconsistente com os objetivos educacionais. Ou então, a manifestação de um equívoco conceitual por meio da interação com o ambiente, o que pode comprometer a qualidade do conhecimento construído em relação: ao conteúdo, ao funcionamento de um aparato, ao modo de se utilizar uma ferramenta ou material, a um modelo explicativo, dentre outros. Em ambos os casos, entende-se que o aprendiz possua as competências e os saberes necessários, e age para a execução da atividade proposta com uma atitude proativa, no entanto, sob a influência de algum fator de conduta presente no processo de aprendizagem, e.g., falta de atenção, pressa, inaptidão. São elementos sutis que participam da produção de *affordances* negativos.

A especificação dos tipos de atitude dos estudantes em relação à aprendizagem permite ao docente uma compreensão mais aprofundada quanto aos comportamentos manifestos em sala de aula. Tais informações favorecem a identificação e exploração de diferentes estilos comportamentais implicados pela percepção visual, ou seja, propicia aos professores uma noção mais apurada acerca da manifestação de interpretações desviantes.

Quanto a invariância dos *affordances* em ambientes escolares, ainda que uma possibilidade de ação não seja percebida pelo docente ou estudante, ainda assim, permanecerá disponível à percepção (Gibson, 1986). Os convites ao uso (Volli, 2012) permanecem disponíveis mesmo quando não são percebidos pelos usuários, ou seja, a existência dos *affordances* não depende das necessidades dos observadores (Gibson, 1986). Para exemplificar, mesmo que uma forma inventiva de se utilizar um alicate – ao pressionar os cabos com elásticos de modo que sua ponta de pressão cumpra a função de *clip* de solda – não seja percebida, ainda assim, tal oferecimento continuará à disposição.

As atitudes mencionadas podem se rearranjar. O padrão comportamental de um estudante varia ao longo do tempo. Ainda assim, as considerações apresentadas nesse tópico podem orientar a observação docente, em relação à produção de equívocos. A seguir, a concepção de *affordance* negativo é aprofundada com base em estudos pertinentes à área de ensino.

2.3 CONCEITUAÇÕES DE *AFFORDANCE* NA ÁREA DE ENSINO

Um conjunto de informações acerca de trinta artigos científicos – publicados em periódicos nacionais, qualis A1, A2 e B1 na área de ensino – analisados em um estudo de revisão bibliográfica será apresentado no quadro a seguir.

Quadro 1 – Informações acerca do levantamento bibliográfico desenvolvido em Vergennes e Laburú (2022).

Área Específica	Temática Investigada	Qualis	Ordem das Referências ¹
Ensino de Ciências (EC) e Educação Matemática (EM)	Ambientes Educativos Inovadores [EC/EM]	A2	1.
	Atividades experimentais e uso de instrumentos de medição [EC]	A1	2.
		A2	3.
		A2	6.
	Relação professor-materiais curriculares [EM]	A1	4.
		A2	5.
		B1	7.
Estudos da Linguagem	Emergência de classificadores em interações comunicativas na Libras	A1	8.
	Aprendizes de inglês na educação a distância	B1	9.
	Formação de professores de línguas	B1	10.
		A2	11.
Filosofia e Ciências da Complexidade	O espaço tátil, para além da percepção visual	A2	12.
	Uso e justificação do aforismo por Francis Bacon	B1	13.
	Arrogância epistêmica	B1	14.
Psicologia Ambiental	Relações recíprocas pessoa-espaco físico	B1	15.
Computação	Sistemas de <i>softwares</i> personalizados	B1	16.
Saúde Pública	Relação entre estímulos domiciliares e o desenvolvimento motor infantil	B1	17.
		B1	18.
		B1	19.
		A2	20.
	Ajustes distais do alcance de bebês prematuros	B1	21.
Sociologia geral	Semiótica material dos dispositivos de navegação	B1	22.
Sociobiologia	A transmissão cultural dentro de um quadro evolucionista geral	B1	23.

“continua”

¹1.(Senra; Braga, 2019); 2.(Laburú; Silva; Zômpero, 2017); 3.(Silva; Laburú, 2017); 4.(Januario; Manrique; Pires, 2018); 5.(Januario; Lima; Manrique, 2017); 6.(Januario, 2020); 7.(Januario; Lima, 2019); 8.(Puhl; Borges; Silva, 2018); 9.(Turolo, 2020); 10.(Zancopé; El Kadri, 2021); 11.(Finardi; Hildeblando Junior; Guimarães, 2020); 12.(Miroli, 2018); 13.(Schwarz, 2012); 14.(González-Grandón, 2016); 15.(Günther, 2003); 16.(Neris; Baranauskas, 2012); 17.(Silva, J.; Fronio; Lemos; Ribeiro; Aguiar; Silva, D.; Vieira; Neves, 2015); 18.(Silva; Lisboa; Ferrari; Freitas; Cardoso; Motta; Tkac, 2017); 19.(Nobre; Costa; Oliveira; Cabral; Nobre; Caçola, 2009); 20.(Defilipo; Frônio; Teixeira; Leite; Bastos; Vieira; Ribeiro, 2012); 21.(Guimarães; Cunha; Mira; Tudella, 2015); 22.(Mendonça, 2014); 23.(Baravalle, 2012); 24.(Candau; Ferreira, 2015); 25.(Bezerra; Souza, 2014); 26.(Santos, 2019); 27.(Calve; Mauerberg-deCastro, 2005); 28.(Monte; Feitosa; De-Bortoli, 2021); 29.(Nemer, 2019); 30.(Paletta, 2018);

Quadro 1 – Informações acerca do levantamento bibliográfico desenvolvido em Vergennes e Laburú (2022).

“continuação”

Área Específica	Temática Investigada	Qualis	Ordem das Referências
Educação	Patrimonialização das heranças do passado	A1	24.
	TIC na educação	A2	25.
	<i>Mobile learning</i>	B1	26.
Fisiologia	Percepção háptica	B1	27.
Estudos Sociais das Ciências e das Tecnologias	Patentes, <i>gamification</i> e proteção ao usuário	B1	28.
	Desigualdades digitais	B1	29.
	Aplicativos de monitoramento menstrual	B1	30.

Fonte: (Vergennes; Laburú, 2022, p.63).

Em Vergennes e Laburú (2022) examinamos o alcance conceitual de *affordance* na literatura disseminada em periódicos nacionais. Um conjunto de tendências foi identificado, sendo exemplos, a aplicação de *affordances* benéficos para uma aprendizagem de qualidade em situações de ensino de diferentes áreas do conhecimento, cada qual contextualizada em sua própria realidade escolar, ou então, as principais temáticas investigadas. As inspirações proporcionadas, assim como a especificação dos avanços alcançados dentro do contorno analisado, apoiaram o desenvolvimento da presente tese.

Em três dos trinta artigos analisados em Vergennes e Laburú (2022) os oferecimentos prejudiciais para a aprendizagem foram explorados. Em dois desses três artigos houve o tratamento de situações indutoras de desvios de interpretação em física, com base no exame dos *affordances* negativos reconhecidos no momento da instrução (Laburú; Silva; Zômpero, 2017; Silva; Laburú, 2017).

Em Laburú, Silva e Zômpero (2017) foram investigadas as características morfológicas de construção dos recursos materiais que implicaram no surgimento de entendimentos indevidos relativos aos modos adequados de utilização. O uso incorreto de um transferidor foi determinado pelo seu formato, ao induzir um posicionamento incorreto do centro do gabarito no ponto de medição (equivoco procedimental).

Por sua vez, em Silva e Laburú (2017), a demonstração empírica de um dos efeitos da pressão atmosférica – em um experimento em que uma vela acesa é coberta por um copo transparente – devido aos aspectos visuais envolvidos, induziu parte dos estudantes a construírem suas explicações com base na vela que

se apagou, e no oxigênio que “queimou” ou “desapareceu” dentro do copo onde o nível do líquido subiu, antes alocado em um pires onde a base da vela permaneceu fixada (equivoco conceitual).

Em um artigo recente o conceito de *affordance* negativo foi aplicado na análise de trechos de um documentário científico (Laburú; Silva; Camargo Filho; Zômpero, 2023), com potencial para gerar desvios de entendimento nos estudantes de física. Os documentários desse tipo são produzidos a partir da concatenação de múltiplas representações dinâmicas (texto, som, imagens, transições), com sequências bem definidas temporalmente. A integração de modos representacionais pode contribuir para a manifestação de relações particulares capazes de distorcer os entendimentos previstos para o ato comunicativo.

No campo da química, em Gregório (2021) representações utilizadas em aulas de química foram consideradas semioticamente com base no conceito de *affordance* e multimodalidade. A identificação dos *affordances* negativos dos signos e os respectivos desvios interpretativos conceituais e procedimentais, permitiu o exame dos processos comunicativos desenvolvidos em diferentes situações instrucionais, nas quais houve a superação das más interpretações – com o auxílio de indicações circunstanciais emitidas pelo docente – haja vista uma aprendizagem de qualidade em química para estudantes do curso técnico e licenciatura.

Em outro estudo relevante desenvolvido por Hernandez (2023), dentro do programa investigativo relacionado com os eixos teóricos da multimodalidade e semiótica, as interpretações divergentes presentes em analogias pictóricas oriundas de livros didáticos, na perspectiva de estudantes de licenciatura em química, foram analisados. Após classificar os conhecimentos essenciais para o entendimento de cada analogia, seguiu-se com o estabelecimento das relações necessárias para uma compreensão adequada do tema científico tratado, ambos validados verbalmente pelos estudantes em uma etapa posterior. Desse processo, as associações indesejadas puderam ser identificadas, o que resultou em um refinamento acerca da compreensão das possibilidades e limitações das analogias pictóricas para o ensino de química.

A teoria dos *affordances* é amplamente explorada, principalmente em áreas envolvidas com o *design* de produtos e serviços, e a psicologia. Com foco no campo de ensino, constatou-se que o sentido atribuído ao termo *negative affordance* na literatura internacional refere-se aos oferecimentos prejudiciais para a

aprendizagem (Barnes, 2000; Brown; Stillman; Herbert, 2004; Dohn; Lund; Lindhardt; Degnebolig, 2016; Sazalli, 2014). No entanto, não tratam da produção de equívocos induzidos pelas relações entre as características representacionais em multimodos. Por não se alinharem com o escopo da investigação e com o programa de pesquisa em desenvolvimento, tais estudos foram desconsiderados nas discussões propostas acima.

Para maiores aprofundamentos disponibilizamos nos apêndices A, B, C, D, E e F análises conceituais relativas as seis pesquisas mencionados acima. A estrutura analítica empregada está em conformidade com o V epistemológico de Gowin (Moreira, 2012), de acordo com as especificações discutidas em Vergennes (2020). Tais produções contribuem para uma compreensão aprofundada dos respectivos estudos e de seus alcances, o que permite um delineamento mais preciso acerca da originalidade que – com a presente tese – se almeja atingir. A seguir, um conjunto de elementos de semiótica será apresentado.

3 ELEMENTOS DE SEMIÓTICA E A PRODUÇÃO DE SIGNIFICADOS EM FÍSICA

No presente capítulo, as considerações propostas acerca dos elementos semióticos selecionados são direcionadas ao processo de ensino, avaliação e aprendizagem em física (Vergennes; Laburú; Camargo Filho, 2022). Tais reflexões auxiliam no reconhecimento e compreensão dos principais fatores que influenciam a produção de significados em âmbito escolar, principalmente no que se refere aos conhecimentos científicos transpostos e explorados didaticamente. Para melhor situar o leitor dividimos a abordagem em dois subcapítulos, conforme a seguir.

3.1 FUNDAMENTOS DA SEMIÓTICA NO ENSINO DE FÍSICA

No tópico *Múltiplos Significados* aspectos do ambiente escolar são mencionados com o objetivo de contextualizar a produção de equívocos pelos estudantes. Para a estruturação de um instrumento analítico semiótico que permita examinar a produção de equívocos (significados desviantes), foi selecionado um conjunto de ferramentas úteis à análise dos textos (Vollí, 2012), sem limitações estabelecidas por vertentes semióticas específicas. Dentre os conceitos abrangidos estão o fenômeno da ambiguidade; o postulado do potencial comunicativo; as concepções de enunciação, texto, sinal, leitor-modelo e outras ideias relacionadas, com especial atenção ao conceito de decodificação aberrante.

3.1.1 Múltiplos Significados

Uma prática desenvolvida por *youtubers* na atualidade consiste na divulgação de entretenimento por meio de *reacts* comentados, nos quais as resoluções equivocadas produzidas por estudantes são examinadas. O tipo de erro selecionado envolve um conjunto peculiar de relações entre a *questão*, a *resposta* e o *contexto* no qual a narrativa é apresentada. O objetivo dos influencers consiste na exploração do teor cômico dos significados desviantes presentes nas situações apreciadas.

Seja mediante equívoco ou de modo intencional, estudantes eventualmente elaboram respostas incoerentes para o contexto da matéria de

ensino. No entanto, em alguns casos a produção de *resoluções incorretas* é influenciada pela percepção que o aprendiz tem das coisas e do ambiente no qual se encontra. Ou seja, tratam-se de equívocos induzidos por *affordances* negativos (Gibson, 1986).

As desvinculações de significado acima referidas surgem de interações entre os estudantes e o ambiente. As noções produzidas geralmente permanecem no âmbito da subjetividade – o que podemos chamar de indicadores tácitos de aprendizagem – pois são saberes contextuais gerados pela percepção direta (Gibson, 1986). Porém, quando manifestos e tratados particularmente pelo docente mostram-se triviais e de fácil correção (Laburú; Silva; Zômpero, 2017).

De modo geral, uma turma de estudantes encerra um amplo conjunto de estruturas de significados entremeados por desvios interpretativos, cuja elucidação plena consiste em um objetivo considerado inalcançável do ponto de vista da ação docente mediadora. Isso reforça a demanda por novos olhares, seja como professor pesquisador e/ou professor reflexivo (Fagundes, 2016; Lorencini Júnior, 2009), ou então, como pesquisador da área (Laburú; Silva; Zômpero, 2017).

Eventualmente, resoluções inesperadas desafiam a compreensão docente. Os casos mais interessantes e delicados são as inusitadas concepções de aprendizes distintas das soluções de “referência”, com algum sentido lógico e, portanto, merecedoras de uma atribuição (nota) conceitual ou numérica condizente. Ainda que os aprendizes construam uma diversidade de significados, por vezes, suas construções não se alinham ao conjunto de significados que objetivamente deveriam ser negociados e compartilhados, conforme os desdobramentos previstos no planejamento escolar.

A dificuldade dos estudantes consiste em construir um conjunto específico de significados inter-relacionados condizente com um quadro de possibilidades essenciais, coerentes e elaboradas, definido como referência na forma de objetivos de aprendizagem e desenvolvimento (Brasil, 2018). Ao se restringir interpretações menos relevantes do ponto de vista escolar, abre-se espaço para os caminhos interpretativos almejados instrucionalmente (Tytler; Prain; Hubber; Waldrip, 2013).

Em consideração aos desvios interpretativos manifestos por aprendizes ao se engajarem em atividades orientadas por enunciações (representação verbal escrita e/ou falada (Prain; Tyler, 2012)), discutiremos uma

série de elementos semióticos úteis para a produção de enunciados de baixa ambiguidade; a análise de textos; a estruturação, aplicação, gerenciamento, avaliação e análise de situações-problema para o ensino de física.

3.1.2 Vertentes Semióticas

Desde os tempos dos antigos gregos, especialmente a partir de Platão e Aristóteles, ideias fundamentais alavancaram o desenvolvimento do campo disciplinar da semiótica (D'amore; Pinilla; Iori, 2015). Atualmente, os estudos produzidos nessa área do conhecimento humano têm se concentrado no entendimento dos signos (textos), na construção de sentidos e na comunicação (Volli, 2012).

Como ciência moderna a semiótica possui duas principais origens. Pela corrente estrutural fundada por Ferdinand Saussure, destina-se ao estudo da linguística e da psicologia social. Por sua vez, a corrente interpretativa iniciada por Charles Sanders Peirce centra-se em reflexões de cunho filosófico (Volli, 2012). A dualidade de fundamentos que se nota amplia seu alcance como área do conhecimento humano, ao permitir uma análise mais abrangente dos sistemas de signos. Portanto, destaca-se como uma disciplina rica e multifacetada, que continua a influenciar e enriquecer os estudos em diferentes campos, ao proporcionar *insights* em relação à natureza da linguagem, da comunicação e da cognição humana. Em investigações recentes relativas ao campo de estudos semióticos (Duval, 2009; Volli, 2012), a proposição de discussões e abordagens inovadoras envolvem conhecimentos pertinentes a ambas vertentes, tanto em relação a perspectiva estruturalista, como também a corrente interpretativa.

Nota-se um posicionamento flexível em Duval (2009) e Volli (2012), nos quais instrumentos para a análise do texto de diferentes linhas semióticas são utilizados em conjunto. Ao corroborar tal tendência destacamos que não houve a adoção de uma vertente semiótica específica para o desenvolvimento do presente trabalho. Os conceitos selecionados para compor o instrumento analítico semiótico empregado na análise de situações didáticas, assim como para guiar as considerações relativas ao processo de ensino, avaliação e aprendizagem de física, são apresentados a seguir.

3.1.3 O Conceito de Ambiguidade

Toda ação comunicativa representa uma tarefa complexa. As ideias expressas por quem fala (enunciador) não constituem um puro reflexo dos entendimentos elaborados pelo ouvinte (destinatário) acerca da mensagem. Em um processo caracterizado pela produção de significados – mediada por ideias compartilhadas entre os sujeitos que se dispõem à interlocução – o ato sêmico se estabelece (Laburú; Silva; Camargo Filho, 2021; Volli, 2012).

Na escola, a qualidade dos significados negociados entre docente e estudante (Moreira, 2008), assim como entre os integrantes da comunidade escolar como um todo, demanda cuidados para que se desenvolva um processo efetivo de comunicação. Em uma situação ideal, o receptor de uma mensagem terá as melhores condições para entender o conteúdo transmitido, assim como as intenções do emissor e, portanto, preservar a carga semântica originalmente planejada (Volli, 2012), em detrimento da ambiguidade. Tais aspectos podem ser melhor compreendidos à luz de conceituações semióticas.

Por meio do conceito de ambiguidade tipos específicos de desvios interpretativos podem ser melhor compreendidos, e então eliminados, ou ao menos reduzidos. A ocorrência do fenômeno da ambiguidade em diferentes línguas é comum, inclusive entre as línguas devido ao empréstimo de vocábulos – *estrangirismos* nos termos de Faraco *et al.* (2001) – de acordo com o contexto de utilização em que as palavras, expressões e/ou frases estão inseridas (Cambrussi; Poll, 2015).

Dentre as possíveis alternativas que conduzem para determinados entendimentos, a interpretação mais apropriada para uma situação específica pode ser reconhecida por meio do contexto comunicativo estabelecido (Cambrussi; Poll, 2015). Ou seja, o principal filtro que auxilia o destinatário da mensagem na seleção do viés interpretativo mais adequado é contextual.

A ambiguidade não representa um tipo de defeito atrelado estruturalmente a uma língua, pois corresponde a um recurso literário que assume a condição de um artifício estilístico influente para diferentes gêneros textuais, e.g., charges e *cartoons* (Cambrussi; Poll, 2015). Assim, aproveita-se da polivalência das palavras para à produção de críticas dissimuladas, poesias, obras literárias e humor. Por outro lado, a ambiguidade deve ser evitada em gêneros textuais relacionados às

áreas técnicas, científicas e de ensino (área de ciências da natureza e suas tecnologias). Em termos de conceitos, procedimentos e atitudes tais conhecimentos são estruturados em bases consistentes e objetivas de significados, o que implica em uma quantidade limitada de possíveis interpretações disponíveis. Por definição, o ato de *conhecer* consiste em se *conhecer os significados* (MACHADO, 2007), e que por natureza, os conhecimentos técnicos e científicos (mesmo quando submetidos à transposição didática) são discursivos (SEIXAS; CALABRÓ; SOUSA, 2017). Ou seja, o entendimento de significados específicos demanda a formulação de raciocínios de qualidade, sendo a ambiguidade um obstáculo educacional para tal conquista.

A existência de uma ampla pluralidade interpretativa influencia negativamente na aprendizagem, comunicação e definição de conteúdos fundamentados em relações bem definidas (Cambrussi; Poll, 2015). No entanto, pontua-se que avanços tecnológicos, científicos e educacionais dependem de proposições inovadoras. Deve existir um equilíbrio entre a demanda por novos significados e o estabelecimento de significados consolidados pela comunidade especializada. A reinterpretção de fatos, noções e fenômenos à luz de novas teorias se baseia na compreensão, ao menos parcial, dos significados presentes em teorias anteriores. Nesse processo é fundamental identificar as demandas, contribuições, lacunas e limites referentes às teorias precedentes, conforme o princípio da correspondência entre diferentes paradigmas (De Meneses, 2008). A expansão do conhecimento por meio perspectivas inovadoras depende do cumprimento de critérios rigorosos, em um regime “evolutivo” de ideias.

O avanço do conhecimento científico se dá mediante o contínuo diálogo entre diferentes teorias e abordagens, ao impulsionar a busca por um maior entendimento da realidade que nos cerca. Os conhecimentos científicos considerados válidos pela comunidade científica de nossa época, ainda que transpostos para o contexto de sala de aula, precisam oferecer o mínimo de leituras divergentes em relação aos saberes essenciais à formação de pessoas aptas ao exercício da cidadania, pensamento crítico, ética e valores, autonomia, autodisciplina, criatividade e inovação, competências sociais e emocionais, consciência ambiental, dentre outros (Brasil, 2018).

A complexidade comunicativa inerente aos diferentes modos representacionais consiste um fator variável, de modo que a redução de

interpretações desviantes não produtivas educacionalmente deva ser considerada caso a caso. Em relação aos materiais disponibilizados aos aprendizes nos momentos instrucionais, considera-se que em sua maioria são produzidos por pessoas na condição de emissores de mensagens. Quem produz e emite uma mensagem sabe precisamente o seu propósito, ao veicular uma estrutura específica de significados e, geralmente, a constrói com base em um conjunto de intenções e suposições acerca das características interpretativas que se espera que o aprendiz possua (Cambrussi; Poll, 2015). Supor estimativas acerca das competências do destinatário em relação ao processo interpretativo dos conteúdos e dos propósitos neles imbuídos, aproxima-se da concepção de leitor-modelo (Volli, 2012). Desse modo, combinações estéticas e semânticas são planejadas para a produção de conteúdos, e.g., extensão das frases, complexidade dos raciocínios, exigências vocabulares, conhecimentos específicos, entonação da voz, tamanho da letra. Destarte, o fenômeno da ambiguidade ocorre apenas para o receptor, e jamais para o emissor de uma dada mensagem (Cambrussi; Poll, 2015).

O estudo de situações ambíguas compreende distintas vertentes teóricas. De acordo com o viés adotado considera-se a existência de três tipos de ambiguidade: fonética, gramatical e lexical (Ullmann, 1964). Na ambiguidade fonética abordam-se os sons da fala. Na linguagem falada a estrutura fonética da frase ao ser pronunciada em concatenação passa a deformar a unidade acústica. Na ambiguidade gramatical considera-se a forma e a estrutura (anfibologia). Respectivamente, o emprego de prefixos e sufixos na formação da palavra implica na alteração do significado e o posicionamento de um conjunto de palavras em uma frase implica no surgimento de diferentes relações entre os termos. Na ambiguidade lexical, existem duas possibilidades. A polissemia envolve significados diferentes para uma mesma palavra, que possuem relação direta entre si, e a homonímia engloba distintos significados para uma mesma palavra, que não possuem relação direta entre si.

Os tipos de ambiguidade supramencionados, eventualmente, surgem no decorrer de situações instrucionais. Desse modo, existe a necessidade de estratégias que contribuam para sua resolução. A explicação anterior permite compreender, por exemplo, que a polissemia e a homonímia são casos particulares do fenômeno da ambiguidade (Cambrussi; Poll, 2015; Ullmann, 1964).

Em uma situação didática frequente no estudo da termodinâmica, a

palavra “calor” – que representa um método de transferência de energia em razão da diferença de temperatura – é entendida pelos aprendizes como a sensação térmica que se sente em ambientes com temperaturas elevadas (sensação de quente). Eis um caso de homonímia.

Em outra situação, ao se ensinar o conceito de atrito símbolos idênticos são utilizados. A força normal é uma grandeza vetorial, normalmente simbolizada por **N** (a letra “**N**” maiúscula, formatada em negrito), enquanto a unidade de medida de força no sistema internacional é dada por N (a letra “N” maiúscula), que significa “newton”. Assim, para uma dimensão, o resultado $N=10N$ representa a ocorrência do fenômeno da ambiguidade lexical por polissemia.

3.1.4 Postulado do Potencial Comunicativo

O surgimento de situações ambíguas pode ser melhor compreendido com base em duas ideias. Conforme o primeiro axioma da comunicação, “não é possível não comunicar” (Volli, 2012, p.17). Ao disponibilizar-se pelo mundo sensível é inviável que informações sobre si não sejam disseminadas. Conseqüentemente, a produção de sentidos ocorrerá caso haja algum observador apto a captar e dar significado aos estímulos informativos. É natural que algo comunique alguma coisa para alguém, porém, esta “alguma coisa” varia de destinatário para destinatário, dentro de um amplo conjunto de possíveis compreensões.

Outro ponto relevante refere-se ao plano do significado, pois não existem limites para o que algo possa significar (Volli, 2012). Tais considerações são válidas para a linguagem científica, rica em termos e expressões frequentemente utilizados no cotidiano, tais como força, energia, trabalho, potência, calor, pressão, excitação, peso, dentre outros, e ainda, símbolos próprios, tipos de notação e uma ampla diversidade representacional (Prain; Tytler, 2012; Sanzovo; Laburú, 2017).

Tudo o que é percebido tem potencial para significar (Gibson, 1986; Tytler; Prain; Hubber; Waldrip, 2013; Volli, 2012), ao ponto de não haver critérios para se prescrever dentro de limites precisos os significados possíveis. Ainda assim, argumenta-se que uma intencionalidade docente especializada semioticamente permite tornar determinadas trajetórias interpretativas mais convidativas do que outras (Volli, 2012), aos olhos dos aprendizes.

A semiótica fornece mecanismos que possibilitam guiar com mais

qualidade o processo de produção de significados, com base no planejamento, comunicação e gerenciamento dos conteúdos (Volli, 2012). No âmbito da física prioriza-se a coerência científica, que pode ser alcançada mediante o estabelecimento de restrições efetivas relativas aos eventuais desvios interpretativos. Porém, ainda que a eliminação da ambiguidade seja inviável, a frequência de situações ambíguas em enunciados pode ser reduzida. Ou seja, mesmo que o ato sêmico se complete (Laburú; Silva; Camargo Filho, 2021; Volli, 2012), o surgimento de noções desviantes – relativos aos significados negociados entre docente e aprendiz – permanece possível (Volli, 2012).

3.1.5 Enunciações

Por enunciação entende-se a aplicação funcional da língua em um ato individual (Fiorin, 2020), desenvolvido por representações verbais escritas e/ou faladas (Prain; Tyler, 2012). Por conseguinte, a aplicação da língua promove o processo comunicativo em que uma determinada carga semântica é produzida. Os significados resultantes (Ullmann, 1964) se estruturam em uma composição de interpretações coerentes e/ou divergentes, acerca do conteúdo.

A comunicação autêntica e a significação são conceitos semióticos que se diferenciam devido a presença do emissor na produção de significados (Volli, 2012). Na comunicação autêntica o emissor prepara uma mensagem e a envia para um destinatário (Volli, 2012), e.g., o roteiro de uma atividade experimental, ou então, uma avaliação escrita produzida pelo docente e direcionada ao aprendiz. Existe intenção e esforço para se comunicar algo bem definido para outra pessoa.

Na significação o emissor da mensagem não existe (Volli, 2012). Todo o esforço cognitivo depende unicamente do destinatário. Ao visualizar o céu em tons de azul em determinado momento do dia, e.g., o sujeito predispõe-se a conceber uma explicação em relação ao observado. Não se trata, necessariamente de reflexões com coerência científica. Nesse caso, a natureza não foi produzida com a finalidade de comunicar algo para alguém. Uma conclusão defendida por alguns estudantes, inclusive do ensino médio, em relação ao fato do céu manifestar tons diferentes de azul ao longo do dia – pautada em conhecimentos populares construídos durante suas vidas – resume-se a ideia recorrente de que o céu é azul devido ao reflexo das águas do mar. Assim, a significação na disciplina de física tem

relação direta com a observação de fenômenos naturais, e de outras situações comunicativas nas quais se identifica a inexistência de emissores.

Toda mensagem é composta por elementos materiais, denominados “sinais”. Conteúdos mentais não podem ser transmitidos diretamente entre os interlocutores (Volli, 2012). Os sinais produzidos são os seus substitutos imediatos, tais como as ondas sonoras que transmitem informações durante uma conversa, ou então, as marcas de tinta ou grafite que contornam o formato de cada letra em um papel (Volli, 2012). O acúmulo de sinais organizados formam textos complexos. Por *texto* entende-se as várias partes do mundo sensível nas quais a atividade interpretativa humana explora distintos significados, o que vai além da restrita ideia de *texto escrito* (Volli, 2012). O momento instrucional compreende uma ampla gama de textos, desde o comportamento de um aprendiz ao analisar um fenômeno natural, até as resoluções matemáticas por ele propostas.

Mesmo na condição de produtores de textos os aprendizes também são destinatários capazes de interpretar enunciados, inclusive o mundo a sua volta, com base em seus saberes pessoais não necessariamente corretos, isso é, por meio de suas “enciclopédias de saberes formais e informais” (Volli, 2012, p.18). Ao produzir um enunciado cada docente precisa ter em mente um conjunto de características acerca dos receptores da mensagem. A estratégia consiste em se estimar o tipo de leitor para o qual o enunciado foi produzido (Volli, 2012). A projeção assumida acerca de quem receberá o enunciado deve acompanhar todo o processo de elaboração textual. Em suma, por meio de um trabalho mental de previsão por parte de quem se propõe a ensinar, desenvolvem-se noções relativas às capacidades interpretativas de quem se dispõe a aprender. No entanto, devido à presença de uma variedade de fatores, a perspectiva assumida para o tipo de destinatário pode diferir em relação à situação vivenciada. Os saberes e vivências provenientes da experiência docente auxiliam a estimar com melhor precisão as capacidades interpretativas dos estudantes.

3.1.6 Decodificação Aberrante

As enunciações produzidas podem variar entre *abertas* ou *fechadas* (Volli, 2012). Os textos abertos permitem interpretações mais criativas e de livre expressão, o que requer uma perspectiva avaliativa mais flexível (Vergennes,

Laburú, Camargo Filho, 2022). O planejamento do quão aberto ou fechado são os enunciados produzidos contribui no gerenciamento acerca do padrão de respostas obtido. Em geral, questões concisas pouco delimitam o raciocínio do estudante. Contudo, ao se restringir o raciocínio na direção do que se pretende instrucionalmente, a manifestação de respostas pouco relevantes é reduzida.

Na decodificação aberrante o aprendiz interpreta o enunciado de maneira distinta do que foi planejado originalmente pelo docente (Volli, 2012). Com explicações diretas e específicas situações particulares podem ser resolvidas, porém, a manifestação de múltiplos desvios interpretativos em sala de aula pode inviabilizar uma mediação docente efetiva, de modo que as intervenções elucidativas realizadas não alcancem todo o público discente. A restrição intencional das trajetórias interpretativas opera como um subterfúgio que auxilia na redução dos casos de equívoco.

As interpretações manifestas pelos aprendizes influenciam no conteúdo das resoluções propostas. Em cada atividade o docente precisa buscar por indícios que possibilitem avançar em relação à negociação e compartilhamento de significados, seja em erros, rasuras, comentários, gesticulações, feições, desenhos, dentre outros. Além disso, existem estratégias para se reduzir a frequência com que o fenômeno de decodificação aberrante ocorre (Volli, 2012). O detalhamento é apresentado a seguir.

I. Manifestar sinais que caracterizem o contexto em discussão. O enunciado principal que orienta uma atividade de simulação, por exemplo, pode envolver outros tipos de textos, tais como vídeos, ilustrações, infográficos, gráficos, representação verbal falada e/ou verbal escrita, notícias, diagramas de raios, diagramas de corpo livre, tabelas, gesticulação, dentre outros (Prain; Tytler, 2012). A estrutura contextual formada pela integração de um conjunto de múltiplas representações (Prain; Tytler, 2012) proporciona uma noção do cenário geral considerado no momento da instrução, além de guiar o estudante ao longo do processo de aprendizagem. Definir adequadamente o contexto representa um método de filtragem que auxilia na redução dos desvios de interpretação.

II. Estimular determinados percursos de leitura por meio da aplicação do efeito de redundância. O emprego de informações específicas inseridas de modo recorrentemente em textos e em momentos diversificados, proporciona um redirecionamento proposital e gradativo da atenção e do raciocínio do aprendiz em

relação aos conceitos, procedimentos e atitudes em construção. Os enunciados que estruturam situações-problema pertinentes ao ensino de física tendem a ser mais fechados do que abertos (Volli, 2012), em relação a permitir uma quantidade restrita de possíveis interpretações. Isso não implica em uma limitação da criatividade, do pensamento exploratório ou da imaginação, mas sim, em uma redução planejada acerca da quantidade de possibilidades interpretativas menos prolíferas educacionalmente. Concorda-se que o erro deva ser valorizado (Cossa, 2021; Nelson; Carneiro Filho, 2011; Nogaro; Granella, 2004), devido à riqueza de informações que fornecem, tais como indicadores, perspectivas e concepções. Ainda assim, defende-se que tal estratégia seja utilizada após outras alternativas serem consideradas para uma redução intencional das divergências interpretativas. Em alguns casos, textos mais abertos são utilizados em física em enunciados planejados para o levantamento dos conhecimentos prévios dos aprendizes (Mendes, Proença; Moreira, 2022), e.g., com base em representações produzidas pelos próprios aprendizes acerca do processo de evaporação, ou de tópicos de astronomia (Tytler; Prain; Hubber; Waldrip, 2013).

III. Induzir a participação dos estudantes com o objetivo de deflagrar o processo interpretativo e subsequentes ações, rumo ao que instrucionalmente se pretende que cada aprendiz reconheça, compreenda e faça. A solicitação direta, específica e simples, pode impelir o estudante para a ação. Ao docente destina-se a função de criar e gerenciar distintas oportunidades interpretativas. Com frequência, o apelo para uma participação ativa é recusado, ao menos inicialmente. Cabe ao professor trabalhar gradativamente essa prática com a turma ao ponto de torná-la um costume. A execução de ações simples mediante solicitação, como segurar um aparato experimental ou auxiliar um colega com dificuldades, consiste em meios para induzir participações de modo controlado. A redução de aulas meramente expositivas (Pereira; Lima, 2018) e/ou demonstrativas (Barreiro; Bagnato, 1992) são implicações relevantes dessa prática. Os estímulos para a ação em um ambiente no qual a expressão de ideias e atos seja um fator culturalmente estabelecido, fomentam o engajamento prático dos estudantes em relação às discussões e atividades propostas.

IV. O plano de fundo de toda enunciação deve conter informações que subsidiem o processo interpretativo. Desse modo, gerenciar a competência do leitor consiste em entremear a enunciação principal com informações que

contribuam para a construção e manutenção de interpretações coerentes por parte do estudante. Para citar dois exemplos, a expressão facial e a representação gestual emitidas pelo docente durante a instrução, auxiliam os estudantes no processo interpretativo da mensagem, pois correspondem a elementos comunicativos que jamais devem ser subestimados (Laburú; Silva; Camargo Filho, 2021; Tytler; Prain; Hubber; Waldrip, 2013).

A reflexão acerca dos processos comunicativos e de produção de significados em contextos instrucionais representa uma estratégia para a redução de desvios de interpretação. Para esse fim, as ideias abordadas no presente tópico favorecem o alinhamento que se almeja nas escolas, entre entendimentos e ideias relativas ao compartilhamento e negociação de significados entre docentes e aprendizes.

A seguir, uma abordagem inicial fundamenta ideias relacionadas ao processo de ensino, avaliação e aprendizagem, especificamente voltada à componente curricular de física, para então se avançar em discussões acerca das relações entre o emprego de registros de representação semiótica e o processo de aprendizagem em física.

3.2 PRÁTICAS SEMIÓTICAS E PRODUÇÃO DE SIGNIFICADOS EM FÍSICA

No presente subcapítulo a relação entre *noésis* (as atividades cognitivas mobilizadas para a realização de uma tarefa) e *semiósisis* (elaboração ou entendimento de uma representação semiótica) fundamenta reflexões a respeito da importância dos registros de representação semiótica para a aprendizagem, e sua influência no desenvolvimento das atividades cognitivas dos aprendizes (Volli, 2012). De acordo com a perspectiva adotada não pode haver *noésis* sem que haja *semiósisis*.

Para que os estudantes alcancem uma compreensão adequada dos conteúdos a *semiósisis* é considerada como requisito para a *noésis*. Assim, argumenta-se em prol da aplicação de práticas instrucionais nas quais o processo de coordenação por meio do tratamento de representações e da conversão de registros seja desenvolvido, com base na identificação de variações cognitivamente pertinentes (Volli, 2012).

3.2.1 Processo de Ensino, Avaliação e Aprendizagem

Nos principais documentos oficiais² que regem a educação escolarizada no Brasil, informa-se e normatiza-se o processo avaliativo dos aprendizes, porém, definições, orientações, limitações e afins, relacionadas aos tipos de avaliação e suas respectivas aplicações em âmbitos educacionais variados não são abrangidas. Tal vacuidade indica uma demanda por novas perspectivas. As concepções epistemológicas das ciências que fundamentam a teoria e a prática, o emprego de múltiplos instrumentos avaliativos, a utilização de estratégias e modelos de planejamento, são algumas das temáticas consideradas a seguir, ao discutirmos a aplicação de conceitos semióticos em situações instrucionais de física.

Um ensino estimulante ao ponto de influenciar positivamente na aprendizagem de conhecimentos científicos representa uma constante preocupação aos pesquisadores e docentes da área (Pozo; Gómez Crespo, 2009). Seja mediante reflexões acerca da prática, por reflexões teóricas, ou ambas, as soluções concebidas são analisadas e (in)validadas de acordo com os desempenhos observados no momento da prática educativa (Lorencini Júnior, 2009). Tal competência analítica – de natureza sistemática e crítica, por meio da qual os entendimentos de cada estudante são considerados – guia as etapas da ação avaliativa. Nesse sentido, em detrimento de um enfoque quantitativo de avaliação (mensuração da aprendizagem, desempenho por valor numérico, uma referência padrão para análise do desenvolvimento do grupo), adotaremos um foco qualitativo de avaliação (processos, trajetórias, relações, referências personalizadas de desempenho) (Sobrinho, 1996).

Os conceitos semióticos selecionados serão abordados, a seguir, com base nas especificidades do ensino de física, nível médio. A discussão apresentada auxilia na elaboração, aplicação e análise de propostas multirregistros. Tal metodologia de ensino pode contribuir para que os aprendizes se tornem competentes na diferenciação das principais unidades de significado presentes em diferentes tipos de registros semióticos (Vollí, 2012).

² Constituição Federal, de 1988; Estatuto da Criança e do Adolescente, de 1990; Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional, de 1996; Plano Nacional de Educação, de 2014; Diretrizes Curriculares Nacionais da Educação Básica, de 2013; Base Nacional Comum Curricular, de 2018, para o Ensino Médio.

3.2.2 Processo Instrucional de Física

O processo de ensino e aprendizagem abrange toda a ação avaliativa. Logo, abordar a avaliação em física implica que aspectos desse processo mais amplo sejam considerados. Investigações nessa linha de pesquisa envolvem abordagens diferenciadas (Villatorre; Higa; Tychanowicz, 2009). Distintas concepções epistemológicas das ciências explicam o modo pelo qual o conhecimento científico é construído na estrutura cognitiva de cada sujeito. A visão adotada influencia tanto nos costumes que orientam a prática docente, como no teor das reflexões acerca do ensinar, do avaliar e do aprender (Villatorre; Higa; Tychanowicz, 2009).

Na perspectiva construtivista, inspirada inicialmente na teoria de Jean Piaget e aperfeiçoado posteriormente por Lev Semionovitch Vigotski (sócio-construtivismo), por meio de métodos ativos o aprendiz ao se relacionar com um novo conteúdo disciplinar reconstrói intrinsecamente tais ideias em sua estrutura cognitiva, em um processo interno de produção de sentido (Mortimer, 1996, Martinez; Stager, 2013, Castañon, 2015). É o sujeito que ao agir, gera suas representações de mundo ao interagir com os objetos e eventos de sua vivência e interesse. De acordo com a linha construcionista, fundada por Seymour Papert, argumenta-se que o aprendiz constrói os seus conhecimentos ao elaborar modelos perfectíveis da realidade em sua estrutura cognitiva. Um dos pontos que diferencia essa vertente do construtivismo consiste em seu vínculo com o movimento *maker* (Papert, 1980, 2008). No construcionismo a aprendizagem funda-se no planejamento de atividades (*design*), na fabricação de mecanismos e artefatos, na fase de testagem e no aprimoramento das construções por meios de ajustes e reformulações, principalmente com base em tecnologias computacionais (programação) e noções de engenharia (Martinez; Stager, 2013; Papert, 1980, 2008).

As recomendação acerca do uso de múltiplos instrumentos avaliativos têm se intensificado, inclusive em estudos envolvidos com as epistemologias supracitadas (Martinez; Stager, 2013, Villatorre; Higa; Tychanowicz, 2009). O propiciamento de uma pluralidade de meios pelos quais cada aprendiz possa expressar as relações construídas acerca do objeto de estudo, favorece à manifestação de indícios de aprendizagem. Melhorias no desempenho escolar

tendem a se destacar mais nitidamente, conforme diferentes formas de expressão são promovidas, devido a questões de afinidade e/ou qualidade de competências variadas (Brasil, 2018). Por exemplo, uma oratória pouco desenvolvida pode ser um fator impeditivo na apresentação de um seminário, ao passo que, em atividades experimentais a atuação e o rendimento de determinado estudante revelem um salto qualitativo satisfatório. A prova escrita utilizada nas escolas pode ser complementada com atividades que demandem a produção de ilustrações explicativas de um fenômeno, e.g., a transição de fase da água em ordem molecular (Prain; Tyler, 2012), ou então, o uso de mapas conceituais como substitutos dos relatórios de laboratório de física (Pacheco; Damasio, 2009), dentre outras possibilidades.

A problematização, a experimentação e o enfoque histórico no ensino de física são algumas das estratégias amplamente conhecidas, com protocolos formais bem definidos, ainda que conciliáveis. A organização de instrumentos e estratégias deve contemplar os objetivos educacionais, os contextos de aplicação, a orientação do aprendiz rumo às almejadas reflexões, tudo em consonância com as principais diretrizes do planejamento (Villatorre; Higa; Tychanowicz, 2009).

O delineamento geral das etapas procedimentais que estruturam o processo de ensino, avaliação e aprendizagem configura-se no planejamento, o que influencia diretamente nos formatos, nos modos e nos momentos de aplicação das avaliações (Villatorre; Higa; Tychanowicz, 2009). O ato de planejar requer um entendimento aprofundado do contexto escolar para a prática do ensino, das condições e recursos para a execução do que foi planejado, dos procedimentos para a análise dos efeitos gerados e das intervenções subsequentes com base nos resultados obtidos. Eventuais ajustes implicam na reorganização das práticas, teorias e intenções, em vista da otimização dos efeitos produzidos em relação as metas educacionais previamente estabelecidas.

A coexistência entre diferentes tipos de avaliação deve marcar o processo avaliativo. A avaliação diagnóstica indica os conhecimentos prévios, habilidades e competências dos alunos, ao se iniciar um novo assunto. Enquanto a avaliação normativa permite a análise do rendimento do aprendiz em relação aos rendimentos dos demais integrantes do grupo (turma), a avaliação criterial estabelece o progresso alcançado em relação a determinados critérios ou padrões

de desempenho (Villatorre; Higa; Tychanowicz, 2009). Na avaliação somativa o domínio do aprendiz em relação aos assuntos estudados é analisado em finais de ciclo. No caso da avaliação formativa a análise dos indícios de aprendizagem especificam as lacunas e os avanços relativos ao desenvolvimento do estudante, continuamente ao longo do processo instrucional. (Villatorre; Higa; Tychanowicz, 2009).

Apresentaremos a seguir um conjunto de elementos semióticos relevantes para o processo de ensino, avaliação e aprendizagem de física, assim como para o desenvolvimento da presente investigação.

3.2.3 Registros de Representação Semiótica e Aprendizagem

Ao se considerar o processo de ensino, avaliação e aprendizagem à luz da semiótica, optou-se por conceitos explorados na obra *Semiósis e Pensamento Humano: Registros Semióticos e Aprendizagens Intelectuais*, na qual discute-se o essencial para “uma aproximação semio-cognitiva do funcionamento do pensamento” (Duval, 2009, p.9). Ainda que produzida no campo disciplinar da matemática, sua adoção propiciou a inspiração de reflexões valiosas concernentes ao ensino de física.

A aprendizagem de conhecimentos científicos requer das atividades cognitivas (e.g., raciocínio, interpretação de enunciados, resolução de problemas, conceituação) o emprego de registros de representação e de expressão, além da linguagem natural e das imagens, já que o progresso do conhecimento ocorre junto ao surgimento e avanço de novos sistemas semióticos (Duval, 2009).

Uma lei fundamental acerca do funcionamento cognitivo do pensamento humano consiste no fato de que “não há *noésis* sem *semiósis*” (Duval, 2009). Por *noésis* entende-se as atividades cognitivas mobilizadas para a realização de uma tarefa, ou seja, o uso de capacidades integradas nos domínios da cognição, e.g., a resolução de problemas. O conceito de *Semiósis*, por sua vez, representa a elaboração ou entendimento de uma representação semiótica, sendo exemplos, diagrama de força, desenho e a matematização de fenômenos naturais. Ou seja, o desenvolvimento das atividades cognitivas depende explicitamente da produção ou apreensão de representações semióticas em diversos sistemas, pois cada representação relata perspectivas particulares do objeto de estudo.

A compreensão conceitual implica que um determinado recorte da realidade e suas representações jamais se confundam (Duval, 2009). A escrita de notações simbólicas e equações, o traçado de figuras geométricas, a construção de gráficos, diagramas, quadros, tabelas, mapas conceituais, mapas de relevância e ilustrações são exemplos de representações, todas incapazes de substituir os objetos de estudo a partir dos quais foram inspiradas.

Toda representação é construída segundo um conjunto específico de regras pertinentes ao tipo de sistema semiótico considerado. Os sistemas semióticos possuem vantagens e restrições próprias em relação ao que pode ser comunicado e desenvolvido (Duval, 2009). Quanto mais sistemas semióticos o estudante dominar, melhor serão suas condições para comunicar e desenvolver ideias, argumentos e pontos de vista. No entanto, a habilidade para se “mover” entre os sistemas semióticos conhecidos demanda a articulação entre dois tipos de transformação (tratamento de representações; conversão de registros). O tratamento é uma transformação que se realiza no interior de um dado registro, no qual um único conjunto de regras operacionaliza a elaboração de uma representação (Duval, 2009), e.g., o registro de pontos e curvas em um gráfico cartesiano (posição x tempo). Por sua vez, a conversão consiste na passagem de um tipo de registro para outro, onde dois conjuntos de regras participam do processo (Duval, 2009). Por exemplo, a construção de uma representação gráfica cartesiana (velocidade x tempo) por meio de uma tabela de dados. Exige-se assim, uma coordenação desses registros. Eis uma condição fundamental para a compreensão.

Os entendimentos que emergem mediante a articulação entre dois tipos de sistemas semióticos – necessários para que o estudante torne-se apto a transferir suas aprendizagens para novas situações (Haskell, 2000) – contribuem para o desenvolvimento de uma compreensão integrativa (Duval, 2009). No entanto, a proposição de atividades para conversão de registros não garante que a competência de coordenação seja desenvolvida. Para essa finalidade, duas competências devem ser aprimoradas conjuntamente (Duval, 2009). A primeira, refere-se à identificação de unidades de significado na composição de cada representação. A segunda, consiste em estabelecer as relações de reciprocidade entre tais unidades, ao se mover de um sistema semiótico para outro. O principal impedimento à atividade de conversão se deve a uma aptidão pouco desenvolvida referente a capacidade para diferenciar as unidades de significado entre si, e em

relação ao todo representacional (Duval, 2009).

A classificação das unidades de significado divide-se em *pertinentes* e *não pertinentes* (Duval, 2009). De um ponto de vista semiótico, são os diferentes aspectos que juntos configuram um determinado registro (Duval, 2009). Cada sistema semiótico possui regras e elementos *pertinentes* e *não pertinentes* em sua estrutura. Diferentes sistemas possuem diferentes regras e elementos, de modo que seja inviável a elaboração de uma definição geral que padronize e inclua todas as representações existentes (Duval, 2009). Por exemplo, em dois sistemas semióticos A e B, respectivamente, temos uma tabela e um gráfico cartesiano produzido a partir dos dados dessa tabela. Quando uma unidade de significado em A é modificada (e.g., um valor numérico), e uma alteração ocorre em B (e.g., mudança na posição do ponto), a unidade de significado considerada em A é *pertinente*. Mas, se uma unidade de significado em A é modificada (e.g., o *layout* da tabela), e como resultado não há alteração em B, a unidade de significado considerada em A é *não pertinente*. Assim, para uma aprendizagem de qualidade torna-se necessário que o aprendiz reconheça as principais variações cognitivamente pertinentes em diferentes combinações de registros semióticos, explorados ao longo do processo instrucional (Duval, 2009).

3.2.4 Semiótica, Aprendizagem em Física e o Desenvolvimento de Atividades Cognitivas

O protagonismo estudantil implica que o aprendiz assuma a responsabilidade pela construção do seu conhecimento, mediante orientações docentes. Porém, além dos saberes disciplinares em física um agregado de atividades cognitivas devem ser aprimoradas. Justamente por isso, as epistemologias construtivista e construcionista são coerentes com as conceituações semióticas apresentadas.

A capacidade para diferenciar as variações cognitivamente pertinentes e não pertinentes possibilita avanços em relação a habilidade de coordenação de registros (Duval, 2009). Uma compreensão integrativa indica a construção de conhecimentos na estrutura cognitiva do aprendiz, cuja mobilização pela coordenação de registros favoreça o desenvolvimento de atividades cognitivas (Duval, 2009).

Cada instrumento avaliativo, em relação a sua aplicação, mobiliza um ou mais registros semióticos, e.g., na apresentação de um seminário as representações verbal falada e gestual são empregadas de forma coordenada e integrada. São esses registros que regulam o que pode ser solicitado instrucionalmente pelo docente, e em parte, o que é entendido acerca do que foi pedido, e então, produzido pelo aprendiz. Tais respostas são representações dos objetos de estudo (*semiósis*) responsáveis por estabelecer as condições de possibilidade e exercício do ato cognitivo (*noésis*).

As estratégias e os tipos de avaliação mencionados anteriormente serviram de embasamento à prática instrucional investigada. É na fase do planejamento – onde se decidem as combinações entre atividades e instrumentos – que se propõe intervenções com base em uma perspectiva semiótica. Assim, conforme apresentamos, para uma abordagem orientada semioticamente em sala de aula, torna-se viável aos docentes de física projetar, aplicar, gerenciar e analisar atividades em multirregistros.

O foco do aprendiz deve estar em diferenciar as unidades de significado, e também, em variar controladamente as unidades de significado selecionadas entre dois tipos de registro. Ou seja, ao modificar uma unidade de significado em um dado registro, deve-se saber analisar se houve ou não alterações no outro registro considerado. Tal habilidade se mostra relevante à coordenação de registros, o que por sua vez, vincula-se ao desenvolvimento das atividades cognitivas dos aprendizes. É importante que o docente desenvolva suas próprias competências de identificação e interpretação, pois se o aprendiz identificar uma unidade de significado, conseqüentemente, irá interpretá-la. Eis um mecanismo efetivo para a produção de significados em âmbito escolar.

Os aspectos semióticos discutidos nesse capítulo são relevantes para o processo de ensino (em reconsiderações acerca das concepções epistemológicas de construção do conhecimento, instrumentos, estratégias e planejamento); na avaliação (em aplicações e análises de propostas multirregistros, favoráveis ao desenvolvimento intelectual do estudante e do docente como avaliador) e para a aprendizagem (na progressão do aprendiz rumo a uma compreensão integrativa em física).

4 REPRESENTAÇÕES E APRENDIZAGEM

Neste capítulo apresentamos considerações acerca do trabalho representacional na escola, em relação ao processo de ensino, avaliação e aprendizagem de física. Inicialmente, aspectos do progresso das ferramentas representacionais inerentes aos avanços científicos fundamentam o uso de uma diversidade multimodal em sala de aula, com base na relativa semelhança entre as naturezas do conhecimento científico e do conhecimento escolar. Na sequência, destacamos os benefícios de uma estratégia educacional centrada na multimodalidade, nos moldes de uma pedagogia orientada por sequências de desafios representacionais, cada qual contendo distintas restrições produtivas capazes de guiar os processos de raciocínio formal e informal. Em seguida, evidencia-se que o emprego de múltiplas representações em multimodos propicia a produção de modelos capazes de representar a realidade estudada pelo aprendiz. Ao longo dos tópicos, são aprofundadas as discussões pertinentes a diversidade representacional e suas implicações no âmbito escolar. Por sua vez, os temas *desafios representacionais*, *processos de raciocínio formal e informal*, *restrições representacionais* e *a produção de modelos* são fundamentais para se justificar o uso consistente da multimodalidade na educação científica, e ainda, permitir uma visão geral e inspiradora dessa perspectiva metodológica de ensino.

4.1 REPRESENTAR PARA APRENDER FÍSICA

A ciência avança continuamente. Os pesquisadores produzem novos conhecimentos em diversos campos do saber por meio da geração e análise de conteúdo visual – de átomos até galáxias. A utilização de representações visuais para esse raciocínio implica em processos complexos, como o aprimoramento da resolução ou coloração artificial de imagens. Ou seja, na pesquisa científica elementos linguísticos e matemáticos são concatenados com ferramentas visuais cada vez mais sofisticadas (Tytler; Prain; Hubber; Waldrip, 2013).

O desenvolvimento da atividade científica contemporânea é influenciado por práticas de geração e aperfeiçoamento de imagens. Outros progressos abrangem simulações multidimensionais, construção de modelos mais gerais e técnicas elaboradas de análise e representação de dados, devido aos

instrumentos propiciados pela revolução digital.

O progresso das ferramentas representacionais mostrou-se imprescindível para o avanço do pensamento científico, pois permitiu a combinação, a sobreposição, a transformação em figuras, a interpretação por escrito e a reprodução dessas ferramentas (Latour, 1986). Em outras palavras, além da emergência dos novos conhecimentos, novas formas para comunicá-los se fizeram igualmente essenciais.

As transformações significativas na linguagem por meio das quais os cientistas geram, validam e divulgam novos conhecimentos indicam o surgimento de inovações representacionais. A compreensão do papel das ferramentas representacionais na construção do conhecimento tem se aprofundado, em consequência do aumento no interesse que alavanca a literatura especializada. Assim, o processo comunicativo baseado na evolução dos padrões representacionais tornou-se alvo do crescente interesse de educadores em diferentes disciplinas científicas, inclusive da componente curricular de física, devido a função das representações e do ato de representar na educação científica (Tytler; Prain; Hubber; Waldrip, 2013).

Caso o leitor pondere que o uso de distintas formas para se representar o conhecimento escolar ao longo do processo de ensino, avaliação e aprendizagem de física não consista uma novidade, estará correto. Porém, argumenta-se em prol de uma pedagogia focada no trabalho representacional em sala de aula, ao se fomentar intencionalidade e reflexão na aplicação de atividades inspiradas em desafios representacionais, dispostas em sequências logicamente planejadas (Tytler; Prain; Hubber; Waldrip, 2013).

Se avulta o reconhecimento acerca da relevância em se capacitar os estudantes, para que possam interpretar e criar representações que englobem conceitos, processos, afirmações e inovações científicas. O exercício da atividade representacional abrange tanto o processo pelo qual o conhecimento é gerado, quanto o próprio conteúdo produzido (Tytler; Prain, 2010).

Para se compreender os domínios da física – de acordo com o planejamento docente, no qual se releva a idade, ano escolar e dificuldades específicas dos estudantes – progredir para além do mero conhecimento de tópicos científicos consiste uma das principais metas. Os estudantes precisam adquirir competências, para então, interpretar, representar e avaliar afirmações científicas

(Norris; Phillips, 2003). Isso atribui um papel fundamental ao trabalho representacional em âmbito escolar, estreitamente relacionado aos processos de idealização e construção de representações no campo científico.

A aprendizagem dos conteúdos referentes a cada componente curricular nas escolas implica em uma indução paralela às normas disciplinares (Vygotsky; Cole, 1978), ou ao menos deveria. É preciso compreender o propósito e o uso dos letramentos específicos e generalizáveis para construir e validar o conhecimento escolar, assim como o científico. Desse modo, aprender a alternar entre os diferentes modos de representação – verbal, escrita, visual, matemática (gráficos, tabelas, equações) e tridimensional (3D) – e então, coordená-los de maneira a gerar, testar e justificar explicações se mostra central (Duval, 2009).

A participação ativa do estudante por meio do uso de ferramentas representacionais mostra-se relevante no cultivo de proficiências nas diversas práticas de raciocínio em física (Ford; Forman, 2006). Os aprendizes podem se organizar em grupos (comunidades de aprendizagem), e então divulgar suas representações, que precisam ser apresentadas, justificadas e, quando necessário, adaptadas com base no *feedback* do professor e/ou de seus pares (Greeno, 2009; Kozma, 2003; Kozma; Russell, 2005). O desenvolvimento do raciocínio fundamentado em modelos ocorre por meio de práticas investigativas. As atividades que envolvem a construção, crítica, teste e revisão de modelos, que surgem a partir da exploração de tópicos científicos, operam na condição de mecanismos essenciais capazes de impulsionar o aprimoramento conceitual dos estudantes (Tytler; Prain; Hubber; Waldrup, 2013).

As representações são sempre parciais, seletivas e carregadas de valores e perspectivas. Por natureza, oferecerem relatos abstratos e limitados do seu referente, isto é, do elemento real ou imaginário que ocupa a condição de objeto de estudo. Cada modo representacional oferece vantagens e restrições intrínsecas para a produção de significados. Em outras palavras, a habilidade para se atribuir significado às representações demanda coordená-las enquanto suas limitações são respeitadas, o que confere ao estudante uma compreensão do contexto instrucional, assim como uma noção geral acerca das devidas possibilidades de uso para cada representação (Tytler; Prain; Hubber; Waldrup, 2013).

O envolvimento consistente com a investigação de temas científicos, além de favorecer a aquisição de informações, também mantém os estudantes

ativos na geração e refinamento de modelos acerca de conceitos, processos e fenômenos estudados. Tal abordagem propicia uma compreensão aprofundada e de longo prazo, pois favorece que parte dos métodos comuns à construção do conhecimento científico seja relativamente explorada na escola (Tytler; Prain; Hubber; Waldrip, 2013). Ademais, surgem também sinais de um engajamento produtivo relativo a exploração das relações entre as evidências, os modelos preditivos e os resultados obtidos experimentalmente. Para além do fortalecimento da compreensão dos conceitos, se desenvolvem habilidades críticas de análise, avaliação e adaptação de modelos à luz das novas informações adquiridas (Tytler; Prain; Hubber; Waldrip, 2013). Ao se investir na adequação dos ambientes escolares mediante a inserção de elementos capazes de fomentar a participação ativa – como uma estratégia educacional pautada na multimodalidade representacional – há uma produção de estímulos que impele cada estudante a construir e ajustar modelos com autonomia, postura investigativa e curiosidade (Tytler; Prain; Hubber; Waldrip, 2013).

No campo da ciência cognitiva pesquisas recentes tratam da participação ativa dos estudantes ao longo do processo instrucional, das quais surgem constatações relativas ao desenvolvimento do pensamento e da aprendizagem. Os principais elementos destacados como influentes para o refinamento das capacidades mentais dos estudantes foram: o contexto, a predisposição para se engajar, a percepção, a identidade, os sentimentos, a analogia, a metáfora, a ação motora e a identificação de padrões cognitivos (Barsalou, 2008; Damásio, 1999; Sinatra, 2005; Tytler; Prain, 2010; Wilson, 2002). O trabalho multimodal, uma vez realizado em sala de aula, tem potencial para estimular tais fatores.

Uma diversidade representacional articulada junto às atividades normalmente aplicadas em sala de aula é considerada fundamental para o processo de aprendizagem (Tytler; Prain; Hubber; Waldrip, 2013). Além das representações verbal escrita e falada – modos centrais em métodos mecanicistas de ensino – outros tipos de representação passam a ser considerados relevantes na atualidade, sendo exemplos, a percepção corpórea e visual, simulações, realidade aumentada e aplicativos matemáticos, devido as funções específicas que desempenham na construção do conhecimento. O uso exploratório de métodos representativos inovadores e suas possíveis combinações, gradativamente vem se tornando uma prática comum entre os docentes nos diferentes níveis de ensino (Tytler; Prain;

Hubber; Waldrip, 2013).

As atividades cognitivas, tais como a abstração e o raciocínio, podem ser desenvolvidas pelo estudante. No entanto, dependem diretamente da percepção, de uma ação situada, das motivações, do senso de corporeidade e propósito, assim como das possibilidades e restrições (*affordances*) oferecidas pelo ambiente (Gibson, 1986). Ou seja, não resultam unicamente de modelos simbólicos armazenados previamente na mente (Tytler; Prain; Hubber; Waldrip, 2013).

As representações constituem ferramentas adaptáveis. Do pensamento especulativo até o registro de dados obtidos empiricamente, envolvem diferentes tipos de raciocínio, ou ainda, a demonstração de sequências ou procedimentos ao longo do tempo, a classificação de informações e a previsão de resultados. A seleção de representações adequadas para atender demandas específicas e se capacitar para avaliar a efetividade das mesmas na realização de propósitos, são requisitos importantes (Tytler; Prain; Hubber; Waldrip, 2013). Além disso, executam uma multiplicidade de funções em processos interativos e dinâmicos, ao servir como recursos perceptivos para imaginar, visualizar, testar, confirmar e raciocinar. Ao gerar relações entre causa e efeito, constituem-se como afirmações ou narrativas fundamentadas em evidências e fatos (Tytler; Prain; Hubber; Waldrip, 2013). Também podem ser produtos resultantes de modelos mentais ou de esquemas previamente planejados, sendo exemplos, a produção de aparatos complexos empregados em atividades de experimentação ou de mecanismos movidos por energia potencial elástica. As suas *affordances* inspiram a imaginação e a coordenação de diversos propósitos, dimensões, meios para a superação de eventuais obstáculos e contextos de aplicação (Tytler; Prain; Hubber; Waldrip, 2013).

4.2 FOCO REPRESENTACIONAL PARA A APRENDIZAGEM

Nas últimas décadas se intensifica um movimento investigativo acerca da multimodalidade representacional e seus impactos na aprendizagem escolar. As ideias, atitudes e métodos adotados por professores em diferentes etapas de ensino de física passam a ser reconsideradas. O emprego de multimodos e múltiplas representações em abordagens para a mobilização dos estudantes em relação ao objeto de estudo, revela-se uma prática desenvolvida desde a década

dos anos 2000. Além de estimular o interesse do estudante, surge a intenção (de pesquisadores e docentes) de que os aprendizes também interpretem, produzam, descrevam, avaliem e comuniquem suas conclusões ao empregar uma linguagem científica apropriada (Tytler; Prain; Hubber; Waldrip, 2013). No entanto, as percepções, justificativas e noções dos professores – relativas à efetividade das práticas multimodais – ainda permanecem tácitas, e pouco investigadas academicamente. Outro fator de destaque se trata da disposição docente – ou da falta de disposição – para se adotar uma abordagem centrada na utilização diversificada de representações no processo instrucional (Tytler; Prain; Hubber; Waldrip, 2013).

A aprendizagem conceitual e metodológica em física demanda que distintos modos representacionais sejam compreendidos e integrados pelos estudantes (Ainsworth, 1999; Saul, 2004). Por implicação, exige-se o domínio de diferentes representações de conceitos e processos científicos, assim como a capacidade de traduzir um modo representacional para outro, em um processo de construção de explicações de cunho científico por meio da coordenação multimodal envolvida. Há uma melhora no engajamento quando os estudantes identificam vínculos entre as representações que produziram, expressas intencionalmente e defendidas com base em argumentações próprias acerca de conceitos e processos comuns ao campo científico, ainda que transpostos didaticamente para o contexto escolar (Saul, 2004).

A expressão *múltiplas representações* – dentro das possibilidades oferecidas pelo discurso científico – refere-se ao conjunto de distintas produções acerca de diferentes aspectos de um determinado objeto de estudo, ou então de um único ponto de vista, com base em semelhantes representações gradativamente mais refinadas (re-representar) (Tytler; Prain; Hubber; Waldrip, 2013). Para exemplificar, o arco íris na condição de fenômeno natural pode ser ilustrado, explicado em um texto escrito e experienciado em laboratório por meio de um experimento de decomposição da luz branca por um prisma, dentre outras possibilidades (modos representacionais pictórico, verbal escrito e 3D). No entanto, caso a explicação por escrito necessite de ajustes ou complementações, uma re-representação refinada dos aspectos já abordados será desenvolvida, ou seja, o texto inicial e o texto refinado são representações semelhantes, mas qualitativamente distintas devido aos melhoramentos aplicados.

Por sua vez, o termo *multimodos* relaciona-se aos distintos processos de produção representacional, cada qual de natureza característica devido as suas propriedades, regras e atributos particulares. No discurso científico, a integração e coordenação de múltiplas modalidades para apresentar argumentos, raciocínios, evidências complexas e inovações científicas envolve modos textuais, matemáticos, visuais, dentre outros, o que permite justificar os avanços alcançados (Tytler; Prain; Hubber; Waldrip, 2013).

A capacidade do estudante para interpretar e gerar produções representacionais coerentes, por meio dos respectivos processos de elaboração, é central para o desenvolvimento de competências científicas. A exploração articulada de representações multimodais envolve sequências elaboradas de raciocínios. Um trabalho representacional efetivo em sala de aula se alinha com tais princípios, pois prioriza as demandas e preferências individuais de aprendizado, além de propiciar interações ativas com evidências e ideias (Tytler; Prain, 2010).

No contexto da aprendizagem em física, o emprego das múltiplas representações revelou-se uma estratégia compatível e produtiva. Mesmo as formas de representação exploradas com pouca ou nenhuma ênfase por alguns professores, se revelam promissoras às práticas em sala de aula (Dolin, 2001). O enriquecimento do processo de aprendizagem por meio de abordagens variadas de um mesmo conceito, com ao menos três ou quatro experiências em diferentes momentos, contribui para a construção de um conhecimento consistente e de longo prazo, ou seja, duradouro (Nuthall, 1999).

As oportunidades para a geração de diversas representações de um dado conceito ou processo podem ser combinadas com um reprocessamento dessas representações em outras modalidade. Esse processo de aprimoramento torna os entendimentos e avanços dos aprendizes mais explícitos (Russell; Mcguigan, 2001). Para tal, exige-se o discernimento acerca das diferenças entre uma ideia, seus diversos modos de representação e os fenômenos ou eventos reais considerados. Na busca pela compreensão e/ou explicação de um assunto, o aprendiz se insere em um empreendimento mental ao utilizar os recursos cognitivos e representativos disponíveis para atribuir significados às novas conceituações (Tytler; Prain; Hubber; Waldrip, 2013).

A compreensão dos significados de termos como “força”, “trabalho”, “energia” ou “calor” como terminologias científicas, requer a habilidade de aplicar

devidamente recursos representacionais a fim de estabelecer relações entre os objetos reais de estudo e as explicações teóricas correspondentes. Ou seja, a aprendizagem acerca de novos conceitos não pode ser separada de como representar tais conceitos e do que essas representações significam (Tytler; Prain; Hubber; Waldrip, 2013).

O emprego de uma diversidade representacional na escola, por vezes vem acompanhado de crenças limitadoras por parte dos docentes. É comum a predominância de recursos e estilos de aprendizagem próprios dos estudantes ao invés da exploração intencional de uma ampla diversidade modal, o que corresponde a uma confusão entre modos (processos de produção representacional) e recursos (materiais e simbólicos) (Tytler; Prain; Hubber; Waldrip, 2013). A utilização de diversos recursos, assim como a aplicação de uma gama de modos representacionais sem a devida atenção aos requisitos interpretativos necessários, não implicam necessariamente no exercício da multimodalidade (Tytler; Prain; Hubber; Waldrip, 2013). Nesse cenário, a forma, o propósito e a função do trabalho representacional no ambiente escolar são fatores que precisam ser melhor delineados e compreendidos pelos docentes, sendo respectivamente, a sequência de representações aplicadas, a pertinência das representações e o papel de cada representação no aprimoramento do raciocínio e da compreensão do estudante acerca dos assuntos abordados (Tytler; Prain; Hubber; Waldrip, 2013).

Existem empecilhos para uma aplicação educacional consistente dos multimodos e múltiplas representações. A restrição de tempo destinado no currículo implica em uma quantidade reduzida de atividades que permitam explorar distintos modos representacionais, o que por sua vez limitará os avanços e as possibilidades (Tytler; Prain; Hubber; Waldrip, 2013). Outros fatores são a diversidade de estudantes, o que interfere no tipo e variedade dos modos representacionais utilizados, a necessidade de se repetir algumas das atividades com o intuito de consolidar a aprendizagem, devido aos vínculos entre a repetição adequada, o tempo destinado para a exploração de cada modo e a manutenção do ritmo de aula (Tytler; Prain; Hubber; Waldrip, 2013). A escassez de materiais e ferramentas diversificados – próprios para cada modo representacional – restringe o desenvolvimento das sequências de *desafios representacionais*, conforme tratado em tópico específico. Há um reconhecimento de que uma abordagem educacional pautada na multimodalidade depende diretamente da capacidade do estudante em

vincular representações com os aspectos da investigação proposta, o que envolve as propriedades dos mecanismos, dos itens empregados nas produções e dos instrumentos manipulados para tal (Tytler; Prain; Hubber; Waldrip, 2013).

Cada docente, ciente dos objetivos de aprendizagem e do planejamento anual de sua componente curricular, atua em distintas circunstâncias. Ao buscar por ordem, coerência e organização no desenvolvimento das atividades, também orienta os entendimentos em relação ao funcionamento de diferentes representações. Porém, uma atitude docente focada em dar instruções e antecipar as melhores escolhas, pode impedir que parte dos estudantes construa suas próprias representações de maneira gradativa e autônoma (Tytler; Prain; Hubber; Waldrip, 2013). Novas demandas e conhecimentos passam a ser exigidos dos profissionais da docência. Tais saberes permitem ensinar aos estudantes as relações entre a forma e a função de diferentes modos de representação, identificar e utilizar recursos de representação apropriados, assim como conduzir os aprendizes de representações autogeradas às canônicas científicas. E ainda, guiar os estudantes de uma dependência de suportes concretos à abstração e simbolização por meio de representações, e estruturar a negociação social das diferentes explicações propostas (Tytler; Prain; Hubber; Waldrip, 2013).

O trabalho representacional torna mais efetivo o processo instrucional de física, pois contribui para a construção do conhecimento, o envolvimento espontâneo, o surgimento de oportunidades diagnósticas, a avaliação formativa, assim como para uma jornada de aprendizagem enriquecida pela diversidade multimodal (Tytler; Prain; Hubber; Waldrip, 2013). Do mesmo modo, favorece a incorporação dos novos conhecimentos com maior significação por meio das vivências cotidianas na escola.

4.3 PEDAGOGIA FOCADA NA CONSTRUÇÃO DE REPRESENTAÇÕES EM FÍSICA

Em defesa de uma pedagogia focada na multimodalidade representacional, abordamos a construção do conhecimento na escola e sua relação com o processo de representação em física. A atenção volta-se à centralidade das representações na aprendizagem e na formulação do conhecimento escolar, a partir de inspirações relativas aos métodos que estruturam o conhecimento científico. A exploração da multimodalidade ao longo das aulas, além de sustentar o

desenvolvimento de recursos representacionais nos estudantes, igualmente atua no aprimoramento de suas competências representativas (Tytler; Prain; Hubber; Waldrip, 2013).

A construção, negociação e avaliação representacional em ambientes escolares – mediante participação ativa dos estudantes – devem ser propiciados a fim de envolvê-los mais profundamente em práticas de produção do conhecimento escolar em física, com base em temas científicos relevantes. Parte das dificuldades conceituais e procedimentais identificadas ao longo de diferentes tópicos de ensino são de natureza representacional (Tytler; Prain, 2010). Uma possibilidade pedagógica consiste na proposição de atividades estruturadas em torno de uma série de desafios representacionais, nas quais permanecem em primeiro plano a avaliação da adequação e negociação representacional, e a consideração explícita do papel das representações na aprendizagem e no conhecimento em construção (Tytler; Prain; Hubber; Waldrip, 2013). Uma aprendizagem de qualidade – por esse viés – resulta de uma indução às práticas epistêmicas da comunidade científica, com base na construção de representações dessa natureza, entendida como uma estratégia relevante para a aquisição de uma compreensão relativa dos seus letramentos, bem como de suas epistemologias e propósitos (Tytler; Prain; Hubber; Waldrip, 2013). Se trata de uma forma particular de investigação guiada na qual docentes introduzem tarefas que geram demandas representacionais, e então, intervêm estrategicamente para apoiar o aprimoramento dos recursos representacionais dos aprendizes com base em seus conhecimentos prévios. Os avanços no desenvolvimento das argumentações envolvem uma exploração direta de situações e problemáticas reais (Tytler; Prain; Hubber; Waldrip, 2013). O enfoque volta-se à exploração de recursos representacionais na prática ao invés da apreensão direta de um quadro específico conceitos puramente abstratos. Assim, surge espaço para os estudantes produzirem com liberdade e criatividade dentro de uma sequência estruturada de tarefas. A ideia consiste em não haver um final propriamente dito para cada tarefa, mas sim, seguir por um processo contínuo no qual os aprendizes ficam livres para expressar distintas versões das formas padronizadas comuns ao campo científico. Em tal abordagem a compreensão passa a ser tratada como a capacidade de se utilizar as convenções representacionais inerentes aos domínios da ciência para pensar e comunicar ideias em âmbito escolar (Tytler; Prain; Hubber; Waldrip, 2013). Portanto, se concentra no desenvolvimento

dos recursos representacionais de cada estudante e em sua tomada de consciência em relação ao papel das representações no processo de aprendizagem (Tytler; Prain; Hubber; Waldrip, 2013).

Cada representação oferece elementos de entendimento seletivos e incompletos por natureza, de modo que a compreensão resultante acerca de um determinado objeto de estudo requeira a articulação das perspectivas levadas em conta. Por exemplo, a relação coerente entre os efeitos macroscópicos (temperatura) e seus correlatos microscópicos (agitação média das partículas), ao se estudar os estados da matéria (Tytler; Prain; Hubber; Waldrip, 2013). O processo de negociação e alinhamento de representações em relação aos padrões representacionais científicos requerem um monitoramento constante das produções geradas pelos estudantes. Os avanços relativos ao processo de seleção e uso de um conjunto de recursos representacionais (ação com autonomia), possibilita a construção de representações ao se operacionalizar esforços na tentativa de explicar raciocínios próprios (Tytler; Prain; Hubber; Waldrip, 2013).

Os princípios gerais para a construção de representações têm um caráter dicotômico. Por um lado, como princípios pedagógicos balizadores da prática. Por outro, como indicadores referentes às condições para uma aprendizagem considerada de qualidade acerca dos conteúdos que estruturam a componente curricular de física (Tytler; Prain; Hubber; Waldrip, 2013). Conseqüentemente, um foco explícito na construção representacional permite combinar em ambientes escolares os aspectos exploratórios e imaginativos inerentes à geração do conhecimento científico, rumo aos conceitos estabelecidos da ciência (Klein; Kirkpatrick, 2010). Tal inovação educacional emerge ao se adotar uma perspectiva a partir da qual valoriza-se o trabalho representacional principalmente como processo, e não apenas os seus produtos (Tytler; Prain; Hubber; Waldrip, 2013).

Novas exigências educacionais são impostas. As dificuldades que surgem em suas dimensões pedagógica, epistemológica e didática, impelem os membros participantes (estudantes e professores) ao desenvolvimento de uma compreensão mais aprofundada das principais ideias e conceitos da física (Tytler; Prain; Hubber; Waldrip, 2013). Os ganhos de aprendizagem alcançados pelos alunos e o envolvimento mais profundo nas discussões propostas em sala de aula (ideias em desenvolvimento), são fatores favoráveis que corroboram a aplicação de

uma estratégia multimodal de ensino. Eis, portanto, uma maneira de estimular uma interação ativa em relação às ideias compartilhadas, negociadas e vinculadas aos fenômenos, eventos e processos estudados em sala de aula (Tytler; Prain; Hubber; Waldrip, 2013).

4.4 SEQUÊNCIAS DE DESAFIOS REPRESENTACIONAIS

Um desafio representacional compreende dois aspectos. Primeiro, envolve uma nova coordenação e síntese de recursos representacionais existentes, ao invés de ser uma atividade de replicação e extrapolação. Segundo, admite uma pluralidade de resoluções, ao contrariar a concepção de “exatidão” em torno de atividades que conduzem para uma solução específica (Tytler; Prain; Hubber; Waldrip, 2013). A característica principal de todos os desafios representacionais é que vão além das exigências de reprodução de representações conhecidas, exigindo interpretação, síntese e a coordenação de representações em novos formatos, por exemplo, a proposta experimental de nível médio voltada ao estudo do ciclo Stirling, explorada em Silva (2023).

Caso o leitor considere que, devido a ampla liberdade representacional e a ausência de respostas padronizadas, as produções dos aprendizes tornem-se uma diversidade de possibilidades aleatórias e incoerentes, destaca-se que não é esse o caso (Tytler; Prain; Hubber; Waldrip, 2013). A estrutura e o gerenciamento dessas atividades induzem as resoluções para direções produtivas educacionalmente (Tytler; Prain; Hubber; Waldrip, 2013). Com base em um trabalho representacional cada aprendiz ao receber um conjunto de materiais e instrumentos variados, se põe a selecionar, avaliar, coordenar e sintetizar produtivamente para construir representações coerentes dos fenômenos e eventos de seu interesse. Se trata de um movimento inicial na busca por familiarizar os participantes acerca da natureza do problema introduzido. A partir da problemática estabelecida e do delineamento de seus contornos, são definidas as necessidades representacionais ao confrontá-las com os recursos disponíveis para a construção das representações, rumo a elaboração de resoluções produtivas para o desafio (Tytler; Prain; Hubber; Waldrip, 2013).

De certo modo, os *affordances* do ambiente (Gibson, 1986) possibilitam o estímulo e a manifestação do raciocínio, e como consequência, da

aprendizagem de competências e conteúdos. A construção do conhecimento escolar com base em conhecimentos científicos didaticamente transpostos e a elaboração de concepções consistentes acerca dos entendimentos científicos sustentados por um repertório de artefatos físicos e conceituais utilizados para gerar e esclarecer significados, consistem avanços educacionais consideráveis (Tytler; Prain; Hubber; Waldrip, 2013).

As habilidades de negociação por parte dos docentes devem permitir uma articulação do movimento de construção representacional rumo ao desenvolvimento de práticas produtivas, o que também exige interpretar e responder com qualidade ao trabalho desenvolvido pelos estudantes. A presença de dificuldades já é prevista, ao passo que a superação de cada situação acompanhe as etapas de implementação da abordagem multimodal (Tytler; Prain; Hubber; Waldrip, 2013). No decorrer das aulas, conforme as atividades são realizadas os aprendizes se envolvem com ideias científicas, enquanto os professores se sensibilizam em relação aos seus entendimentos e necessidades de aprendizagem. Junto aos estudantes os docentes também participam de uma jornada educativa, pois permanecem expostos aos pensamentos e raciocínios de cada aprendiz, em torno de tópicos específicos. Os professores se envolvem com um tipo de conhecimento mais rico em processo de construção, do que em relação aos conhecimentos produzidos em pedagogias mecanicistas, devido a diversificação representacional refinada evidenciada pelo trabalho do discente (Tytler; Prain; Hubber; Waldrip, 2013). A valorização do processo sobrepõe a do produto alcançado. Os desafios representacionais são, em geral, conjuntos de etapas que conduzem cada sujeito por diferentes caminhos, em um processo de construção e aprimoramento de representações particulares cada vez mais sofisticadas (Tytler; Prain; Hubber; Waldrip, 2013).

A construção representacional do aprendiz vai além da reprodução, ao envolver seleção, coordenação e síntese de ideias, entendida como uma elaboração de afirmações lógicas referentes aos fenômenos e eventos de interesse. É um trabalho de produção de conhecimento, por natureza, semelhante ao trabalho de geração de novos conhecimentos desenvolvido no campo científico, ou seja, ambos participam de um processo argumentativo racional (Tytler; Prain; Hubber; Waldrip, 2013). Assim, os docentes conduzem os estudantes em direção às representações cientificamente padronizadas por meio do estabelecimento de

demandas representativas, e então, fazem a introdução estratégica de novos recursos representacionais que posteriormente serão ampliados e coordenados ao longo dos próximos desafios (Tytler; Prain; Hubber; Waldrip, 2013).

4.5 RELAÇÕES ENTRE RESTRIÇÕES REPRESENTACIONAIS E APRENDIZAGEM

Como dito anteriormente, os aprendizes se envolvem com práticas de construção de conhecimento ao produzirem representações com a finalidade de propor afirmações e elaborar explicações. O raciocínio que acompanha o processo de geração representacional conduz para uma aprendizagem de qualidade, pois o trabalho representacional restringe de modo produtivo o enfoque da produção de significados (Tytler; Prain; Hubber; Waldrip, 2013). O conceito de *mediação* (Vygotsky, 1981) serve para caracterizar a interatividade entre aprendizes, ferramentas e materiais, ambiente, orientação e aprendizagem. A linguagem cotidiana funciona como uma ferramenta simbólica, como um andaime para se aprender as linguagens da ciência. Outras ferramentas simbólicas, e.g., álgebra, escrita, diagramas e os sinais de uso por convenção, ocupam a função de ferramentas mediadoras da aprendizagem. Para entender o *como* e o *porquê* de os alunos aprenderem com esse trabalho representacional (Tytler; Prain; Hubber; Waldrip, 2013), três dimensões – comuns ao campo científico – precisam ser consideradas conjuntamente. Tais dimensões são:

- os processos semióticos nos quais a aprendizagem é considerada como o aprimoramento das capacidades de reconhecer e utilizar as principais características de recursos próprios da ciência, assim como de ferramentas simbólicas para interpretar e explicar fenômenos, eventos e processos;

- a criação de significado em caráter epistêmico, onde a construção do conhecimento científico é entendido como o emprego articulado de uma ampla gama de recursos materiais e simbólicos, para se investigar problemas e comunicar os novos conhecimentos. Tais práticas mostram-se relevantes para uma pedagogia centrada no trabalho representacional na escola, ao valorizar ideias, metodologias e condutas comuns ao campo científico;

- a produção de significado como uma atividade epistemológica, em que o raciocínio e a aprendizagem dos estudantes sejam potencializados pelo processo de produção, negociação e refinamento de suas representações

autogeradas.

A construção de representações contribui no desenvolvimento de competências para resolução de problemas, utilizáveis em situações diversas. Ao construir suas próprias representações cada estudante torna-se produtivo, ainda que limitado em seu raciocínio, pois focam em determinados elementos do problema, escolhem ferramentas e materiais apropriados, e aplicam seus conhecimentos prévios na proposição de soluções (Tytler; Prain; Hubber; Waldrip, 2013). Os estudantes aprendem física de maneira efetiva quando participam de atividades nas quais múltiplas representações em multimodos são utilizadas na formulação e avaliação de conjecturas, exemplos, aplicações, hipóteses, evidências, conclusões e argumentos (Kozma; Russell, 2005).

A construção de uma representação é limitada produtivamente por seu propósito, contexto de aplicação e os diferentes recursos físicos e simbólicos disponíveis. Ao fazer um desenho de um fenômeno natural, por exemplo, os aprendizes são limitados pelo espaço físico disponível, geometria, convenções pictóricas, sequência das etapas (forma) e avanços que cada elaboração gradativamente oferece (função), preocupação com os detalhes e a exigência por uma comunicação de qualidade (Tytler; Prain; Hubber; Waldrip, 2013). Os limites impostos pelo modo representacional imagético do tipo desenho, impele o sujeito a produzir suas representações nesse padrão semiótico, de modo a ser mais específico em sua dimensão espacial e geométrica, do que em relação a uma representação verbal escrita acerca de um mesmo aspecto da realidade (Kozma; Russell, 2005). Se devidamente configuradas, as condições restritivas passam a funcionar como elementos indutores capazes de encorajar os estudantes a realizar as atividades na direção planejada pelo docente – pois restringem de maneira produtiva as percepções, os pensamentos e as ações – em conformidade com as convenções que fundamentam a construção dos relatos explicativos (Tytler; Prain; Hubber; Waldrip, 2013).

O estudante responsável por uma produção representacional é conduzido a selecionar especificamente os detalhes de sua construção, ao se preocupar com atribuições de ênfase, configuração do *layout* e ajustamentos quanto ao propósito motivador. As restrições impostas por modos e tarefas representacionais particulares favorecem o raciocínio e a aprendizagem, devido às formas específicas como induzem escolhas e canalizam a atenção do aprendiz

(Tytler; Prain; Hubber; Waldrip, 2013). Ao realizar uma explicação em vídeo acerca de um fenômeno, por exemplo, a necessidade de sincronizar som, texto e imagem para tornar coerente o caso representacional, limita produtivamente tanto o raciocínio como as ações desempenhadas. Eis a *forma*, dada pelo sequenciamento adequado de representações.

Toda representação, ao tratar de aspectos particulares e relevantes do objeto de estudo investigado, contribui ao integrar-se com outras produções para que, juntas, permitam a especificação de características, atributos e interações. Eis a *função*, definida pelo posto atribuído para cada construção dentro de uma estrutura previamente planejada, a partir da qual se projeta uma série de avanços rumo às metas de aprendizagem. As argumentações dos estudantes se formam conforme justificam suas escolhas ao optarem por uma determinada concepção em detrimento de outras, o que envolve coordenar uma diversidade de representações, cada qual consistente com um ponto de vista suplementar (Tytler; Prain; Hubber; Waldrip, 2013).

As competências para geração e interpretação representacional desempenham funções relevantes na construção da aprendizagem conceitual, procedimental e atitudinal em ciências (Lemke, 2004; Disessa, 2004; Lehrer; Schauble, 2006), pois viabilizam o estabelecimento de vínculos entre um dado objeto, sua representação e o seu significado (Lemke, 2003; Peirce, 1931). Toda representação transforma-se em um signo no momento em que significa algo, acerca de um objeto (ou referente) para alguém (o estudante). As práticas de produção de significado em âmbito escolar podem ser compreendidas em termos do relato triádico (Peirce, 1931). Os três elementos distinguem-se entre o signo (por exemplo, setas em um diagrama de corpo livre), a interpretação atribuída pelo interpretante para esse signo (a representação mental de uma força sendo aplicada) e o seu referente (os fenômenos reais nos quais forças são aplicadas em objetos puxados, empurrados, levantados ou deformados, em um sistema sob investigação) (Tytler; Prain; Hubber; Waldrip, 2013).

O entendimento ou poder explicativo em relação aos tópicos científicos dependem dos recursos cognitivos e representacionais do estudante, que devem ser utilizados na aprendizagem de novos conteúdos, ao mesmo tempo em que aprendem a representá-los (Tytler; Prain; Hubber; Waldrip, 2013). Para se aprender física, a alternância entre diferentes modos representacionais é requerida,

ao passo que na estruturação de argumentações seja necessário coordená-los. Há um reconhecimento crescente de que os estudantes devem ser competentes nessas práticas discursivas para se alcançar uma alfabetização científica de qualidade (Disessa, 2004; Gilbert, 2005; Kozma; Russell, 2005; Lemke, 2004). O trabalho representacional tem potencial para aumentar a compreensão dos alunos acerca das relações entre a forma e a função em atividades nas quais a multimodalidade é explorada.

Em relação as implicações da multimodalidade no ensino, destaca-se que o direcionamento do raciocínio baseado na construção de modelos explicativos – também desenvolvido por cientistas – emerge do gerenciamento e uso de restrições produtivas explícitas que atuam no modo como o conhecimento é representado (Nersessian, 2008). As restrições permitem processos de raciocínio, tais como fazer abstrações (limitar ou generalizar situações), produzir simulações mentais, examinar casos particulares em seus contextos e julgar a consistência e coerência de uma afirmação. O trabalho representacional com foco em produzir e justificar ideias atende uma diversidade de padrões de raciocínio e atividades cognitivas intencionais. O emprego das representações como ferramentas permite distintos tipos de raciocínio, tais como reflexões iniciais, a construção de um diagrama, esquema ou modelo para idealizar o funcionamento de um processo ou mecanismo, para propor uma explicação plausível ou examinar se uma argumentação verbal tem coerência quando representada em outros modos (Cox, 1999). Logo, se torna central aprender a selecionar e/ou elaborar representações que atendam determinadas necessidades representativas, além de julgar a adequação das produções autogeradas em relação ao propósito estabelecido (Tytler; Prain; Hubber; Waldrup, 2013).

A proposição de interpretações e/ou explicações em qualquer tipo de contexto exige uma coordenação flexível de representações. Existem situações que envolvem, juntamente, a geração de um conjunto de representações não científicas, como gestos, anotações, expressões faciais, tom da voz e descrições verbais. Embora uma mesma ideia na ciência possa ser representada de maneiras variadas, nenhuma ideia científica compartilhada existe desvinculada de sua representação. A produção de significados e de raciocínios científicos compartilhados não transcende suas representações, pois os significados na física são sempre significados representados (Tytler; Prain; Hubber; Waldrup, 2013).

O significado de uma representação não está inserido na representação em si, mas sim, atribui-se à representação por meio de sua utilização na prática (Kozma; Russell, 2005). Tal concepção conduz para uma reformulação da aprendizagem conceitual em física, pautada basicamente na produção e coordenação de distintas representações em multimodos (Tytler; Prain, 2010). Por implicação, quando os estudantes se concentram em seus propósitos, na adequação de suas produções e na aplicação de representações em contextos particulares, se envolvem em aspectos do aprendizado e/ou conhecimento em física, no qual o trabalho representacional funciona como uma ferramenta para se elaborar conhecimentos e outras competências relacionadas ao processo desenvolvido (Tytler; Prain; Hubber; Waldrip, 2013).

4.6 PROCESSOS DE RACIOCÍNIO E A CONSTRUÇÃO DE REPRESENTAÇÕES

Em conformidade com a perspectiva do trabalho representacional na educação, mais especificamente, no ensino de física, estudos apontam a presença de uma variedade de processos de raciocínio formal e informal (Tytler; Prain, 2010; Tytler; Prain; Hubber; Waldrip, 2013). Por consequência, ao se empregar a abordagem multirepresentacional surge uma tendência de se abandonar um enfoque exclusivo no raciocínio silogístico formal – dedução, indução, abdução – como único recurso de raciocínio para a aprendizagem de física (Tytler; Prain, 2010; Tytler; Prain; Hubber; Waldrip, 2013).

O raciocínio pode ser entendido como um pensamento do tipo deliberativo que envolve escolhas, e que conduz o estudante a propor alegações. Sua ocorrência manifesta-se em diversos momentos durante a produção de representações. Os diferentes propósitos do raciocínio integram-se aos processos comuns ao desenvolvimento científico, e da mesma forma, na elaboração do conhecimento escolar pelo aprendiz (Tytler; Prain, 2010; Tytler; Prain; Hubber; Waldrip, 2013).

No campo científico, para além do raciocínio formal pautado na linguagem – geralmente dominante na configuração da pedagogia escolar – existe também uma diversidade de tipos informais de raciocínio. A prática reflexiva dos estudantes associada à produção de representações serve como indicador da manifestação de um raciocínio de qualidade (Tytler; Prain, 2010; Tytler; Prain;

Hubber; Waldrip, 2013). Quanto ao pensamento para a tomada de decisão (Klein, 2006), principalmente a percepção e o uso da linguagem (e.g., metáfora), envolvem-se na manifestação de raciocínios informais, sendo centrais para a aprendizagem em física (Tytler; Prain, 2010; Tytler; Prain; Hubber; Waldrip, 2013). Os modos informais de raciocínio fundamentam a geração e negociação de ideias, assim como a elaboração criativa de formas representacionais inovadoras.

A utilização dos modos formais e informais de raciocínio em uma perspectiva de complementaridade favorece uma aprendizagem efetiva (Reif; Larkin, 1991). A combinação entre a indução, a abdução, a dedução, a linguagem natural, a percepção e uma competência representacional aprimorada, dentre outros fatores, é fundamental para que o estudante domine os tópicos de física problematizados instrucionalmente.

O contexto de aplicação dos desafios representacionais permite o surgimento de uma diversidade de processos de raciocínio formal e informal. O desenvolvimento de raciocínios e de conhecimentos em física associa-se ao emprego contextual das ferramentas representacionais, conforme as necessidades apresentadas, tanto pela proposição de soluções aos problemas, quanto pela reorganização de ideias para a produção de relatos explicativos (Tytler; Prain; Hubber; Waldrip, 2013).

O processo de transformação de dados em conhecimentos ocorre por meio de um conjunto de *passes representacionais* (Latour, 1999), ou seja, de conversões entre modos de representar em sequências predefinidas ou inovadoras, em uma progressiva sistematização dos novos entendimentos. O avanço via articulação multimodal destaca relações entre o produto científico e o processo pelo qual esse novo saber foi desenvolvido, o que por sua vez indica que, de certa forma, as contingências inerentes às transformações representacionais delimitam a formulação lógica das elucidações propostas. Em problemas de física fora de um padrão mecanicista, o emprego de raciocínios caracterizados como não formais permite resoluções inventivas, ao envolver, e.g., analogias, experimentos mentais e ponderações iniciais (Clement, 2008).

Ao produzirem representações os processos de raciocínio dos estudantes, durante o tempo em que observam, transformam, geram, verificam, supõem e concluem, envolvem pensamentos deliberativos indutivos, dedutivos e abduativos para a geração de ideias. Porém, os modos informais precisam ser

identificados e especificados para que sejam devidamente valorizados e aplicados no âmbito educacional (Gooding, 2006).

Para a construção de relatos explicativos mais avançados os estudantes precisam coordenar diversas relações entre as representações produzidas. Os vínculos de significado são produzidos com a finalidade de configurar a estrutura de um modelo representativo mais complexo acerca de determinado recorte da realidade, ou seja, do objeto de estudo investigado. Todo raciocínio produzido configura uma combinação de diferentes tipos de raciocínio (Tytler; Prain; Hubber; Waldrip, 2013).

A combinação de raciocínios formais e informais no decorrer das aulas, servem principalmente para conduzir o ato exploratório mediante a ordenação das percepções e da produção organizada dos dados, e posterior interpretação dos mesmos. E ainda, atribuem sentido às ideias em um processo de aprimoramento, ao ponto de estabelecer as condições necessárias para a aplicação dessas noções e concepções no esclarecimento de situações-problema, em diferentes contextos (Tytler; Prain; Hubber; Waldrip, 2013).

Os referidos processos de raciocínio viabilizados pela construção de representações, envolvem o refinamento das relações entre os elementos das representações e as características dos fenômenos tratados. Os raciocínios manifestos propiciam o estabelecimento de práticas científicas discursivas consolidadas com base em evidências – modelos representacionais – na condição de referências às etapas educacionais escolares (Tytler; Prain; Hubber; Waldrip, 2013).

4.7 MODELOS DA REALIDADE E O ENSINO DE FÍSICA

O interesse e a atribuição de relevância em relação a produção de modelos – na condição de característica essencial dos processos de construção do conhecimento científico e como um fator primário para uma aprendizagem de qualidade em física – cresceu nas últimas três décadas (Gilbert, 2005; Clement; Rea-Ramirez, 2008). Os resultados de investigações acerca do raciocínio fundamentado em modelos em salas de aula (Lehrer; Schauble, 2006) e no campo científico (Duschl; Grandy, 2008), não apoiam a dominância dos processos de raciocínio formal e de exposições superficiais acerca dos métodos da ciência para a

geração do conhecimento. Nesse sentido, a construção do conhecimento e a modelagem de representações permanecem vinculadas.

O foco do empreendimento científico consiste em desenvolver compreensões relativas as várias partes do mundo real. Para essa finalidade, os pesquisadores realizam observações, buscam por padrões nos dados, propõem teorias, e então, elaboram e testam a validade das explicações propostas para tais padrões. Tais relatos configuram os modelos científicos (Tytler; Prain; Hubber; Waldrip, 2013).

A ciência pode ser entendida como um processo para a produção de modelos preditivos (Gilbert, 1991). Tal definição envolve tanto o processo da ciência quanto a natureza de seus produtos. Desse modo, a criação de sistemas investigativos é essencial nas práticas de resolução de problemas dos cientistas (Nersessian, 2008).

Um modelo consiste na estruturação de uma representação complexa de um sistema com partes interativas, com representações das interações envolvidas (Nersessian, 2008). Em outros termos, são representações de processos, objetos ou eventos que captam relações de caráter estrutural, comportamental ou funcional significativas para o entendimento de cada interação, cujos projetos possuem propósitos específicos determinados pelo modelador (Van Der Valk; Van Driel; De Vos, 2007). Mesmo para diferentes tipos de modelos, pontos em comum podem ser identificados, tais como a escolha do sistema representacional empregado (conjunto de regras), a seleção do objeto de estudo (recorte da realidade) e o conjunto de vínculos entre as características, atributos ou propriedades do objeto e do sistema de representação (Norman, 1983). A produção de modelos envolve a execução de etapas, de modo que o modelador necessariamente estabeleça as demandas gerais, o propósito que deve ser atendido e o aspecto da realidade do qual possa derivar a representação pretendida (Gilbert; Reiner; Nakhleh, 2008).

Ao selecionar atributos particulares do objeto de estudo com a finalidade de representá-lo, a mobilização de um conjunto de atributos semelhantes no modelo ocorrerá (Lehrer; Schauble, 2006). Um modelo existe por meio da interpretação de quem o produziu com base no alvo selecionado (referente), o que implica na presença de um fator de criatividade envolvido em sua produção e na escolha do propósito (Van Der Valk; Van Driel; De Vos, 2007).

Assim como uma representação, os modelos não pontuam todas as características de um determinado objeto de estudo. Por se tratar de uma idealização, com suas limitações comunicativas, tanto o modelo quanto o recorte da realidade considerado possuem características não correspondentes. Uma abordagem aprofundada de um determinado aspecto da realidade envolverá uma diversidade de modelos suplementares. Por consequência, dada uma ampla variedade de possibilidades para se tratar os elementos da realidade, modelos rivais ou concorrentes são possíveis (Grosslight; Unger; Smith, 1991).

Um dos motivos para a existência de uma ampla variedade de modelos científicos surge da dependência de cada modelo em relação aos diversos modos representacionais que o constitui, ao envolver diferentes recursos semióticos, linguísticos, gesticulações, gráficos, imagens, diagramas, recursos concretos, ações, animações, inclusive a combinação desses modos (Oh, P.; Oh, S. 2011). Em outros termos, o emprego de múltiplos modos de representação implica na geração de raciocínios essenciais para a construção de modelos.

Além de um modelo ser considerado uma leitura particular de um determinado elemento do mundo real, também ocupa a condição de instrumento essencial ao empreendimento científico. Ao funcionar como ferramenta comunicativa, permite que os pesquisadores compartilhem seus resultados e constatações com outros pesquisadores e com o público em geral, pois ao conectar teoria e o mundo real cada modelo é operacionalizado como mediador de entendimento (Koponen, 2007; Prins; Bulte; Driel; Pilot, 2009). Na literatura especializada a busca por definições mais adequadas para modelo ainda persiste, mas parece haver um certo consenso quanto a prevalência dos modelos em relação as representações. As representações são signos. Um signo (representamen) é o significado construído por alguém (interpretante) em relação a algo (objeto ou referente) (Peirce, 1931), respectivamente, um significado, sua representação e o fenômeno considerado.

De acordo com a perspectiva supramencionada, os modelos podem ser tratados como representações. No entanto, representações podem não ser modelos. Por exemplo, a fala exploratória dos estudantes, a gesticulação, a ação corporificada, desenhos e a manipulação de recursos funcionam como representações de ideias emergentes, porém, não são considerados modelos (Tytler; Prain; Hubber; Waldrip, 2013). Os modelos são produções refinadas – e.g.,

deliberação, abstração e redução dos excessos – projetadas para elucidar problemáticas específicas. Por outro lado, representações são – em certos casos – situadas e efêmeras, propostas como parte da gênese ou estruturação de um modelo. São recursos elementares, ou instrumentos, pelos quais os modelos são produzidos e interpretados (Tytler; Prain; Hubber; Waldrip, 2013). Ao construir e avaliar modelos os estudantes se envolvem em práticas relevantes à investigação científica. O exercício da modelagem, conforme a perspectiva multimodal de representações – na condição de metodologia ativa – auxilia na expressão de entendimentos acerca do mundo real, assim como na visualização e testagem de ideias, ao operar como fator de aprimoramento da compreensão científica do estudante (Schwarz; White, 2005; Schwarz; Gwekwerere, 2007; Passmore; Stewart; Cartier, 2009).

As práticas que envolvem modelagem não são exercidas com frequência nas escolas (Schwarz; Gwekwerere, 2007). Portanto, as atividades investigativas baseadas na construção de modelos demandam que esse tipo de abordagem adquira consistência no cotidiano escolar (Lehrer; Schauble, 2006), ao se considerar o repertório de modelos que os estudantes trazem para a sala de aula (Gobert; Pallant, 2004). Os modelos autogerados pelos estudantes passam por etapas de testes e avaliações, em paralelo com os modelos de seus pares, e posteriormente, são comparados com outros modelos científicos apresentados pelo docente. Em suma, o raciocínio com base em modelos – ao longo de uma abordagem investigativa mediada – permitiu o refinamento da compreensão científica dos aprendizes (Rea-Ramires; Clement; Núñez-Oviedo, 2008).

O discernimento acerca da natureza e do propósito dos modelos na educação, por parte do corpo docente, contribui para que os estudantes sejam estimulados mais frequentemente com práticas de construção do conhecimento científico (Schwarz; White, 2005). A ciência, na condição de um processo rigoroso e objetivo para se construir modelos da realidade, permite que os estudantes apreciem o conhecimento científico como construção humana, na forma de instrumentos articulados com a capacidade de explicar e prever fenômenos da realidade (Schwarz; White, 2005).

A prática de modelagem no campo científico avança de produções especulativas e possivelmente individuais, por vezes resultantes de um trabalho em grupo, para modelos cada vez mais refinados e fundamentados em evidências e

fatos, inclusive revisados por outros pesquisadores. Assim, são seletivos, voltados à elucidação de problemas específicos e resolvidos parcialmente, como é o caso dos modelos autogerados por estudantes. Dessa forma, os modelos produzidos em âmbito escolar não podem ser considerados ilegítimos, dadas as suas limitações e devidas relativizações (Tytler; Prain; Hubber; Waldrip, 2013).

O exercício sustentado da modelagem na escola – pautado no trabalho representacional – permite que os estudantes se engajem com concepções de cunho científico. Por fim, destaca-se que a modelagem em uma perspectiva multimodal se diferencia da modelagem tradicional em dois pontos principais. Primeiro, o foco reside na construção e negociação de modelos formalizados pelos estudantes, em muitos casos não consistentes com as formas científicas, ao menos inicialmente. Segundo, os modelos são empregados como instrumentos para produção de relatos explicativos, ao invés de uma busca restrita por compreensões acerca dos modelos cientificamente aceitos (Tytler; Prain; Hubber; Waldrip, 2013).

5 ENCAMINHAMENTOS METODOLÓGICOS

A pesquisa foi conduzida por meio de uma abordagem qualitativa, conforme descrita por Flick (2009). Ao privilegiar a qualidade das informações, destaca-se por sua ênfase na compreensão profunda dos fenômenos estudados. Os métodos qualitativos proporcionam uma análise detalhada, mediante a exploração abrangente das nuances e complexidades dos dados coletados. De natureza aplicada (Kauark; Manhães; Medeiros, 2010) e com objetivo explicativo, a investigação seguiu um procedimento documental (Gerhardt; Silveira, 2009; Gil, 2008; Marconi; Lakatos, 2003). A leitura crítica da bibliografia levantada fundamentou as argumentações produzidas (Bardin, 2011). A seguir, apresentamos o delineamento dos fatores metodológicos que orientam a presente investigação.

Em um tratamento qualitativo, os significados desviantes produzidos por estudantes – na forma de equívocos induzidos por um ou mais *affordances* negativos – representou o elemento central de investigação (Deslandes; Neto; Gomes; Minayo, 2002). A natureza tácita do tipo de equívoco considerado dificulta sua identificação, o que implica em uma baixa frequência nos casos típicos registrados. No entanto, o acúmulo progressivo de más interpretações ao longo da formação, pode gerar prejuízos educacionais de curto, médio e longo prazo, e por isso não devem ser ignoradas (Bardin, 2011).

Uma ampla pluralidade metodológica com viés qualitativo encontra-se disponível na literatura. Não existe uma predominância ou tendência impositiva para a seleção do método de abordagem. Ao se partir de uma leitura particular dos equívocos de estudantes em um contexto escolar, se optou por procedimentos e critérios adequados aos fins investigativos delineados. A investigação cuja finalidade consiste em qualificar o objeto de estudo demanda liberdade de escolha em relação as metodologias e abordagens, ao se considerar em primeiro plano a maneira mais profícua para elucidar as indagações propostas (Flick, 2009). Tais escolhas visam otimizar o processo investigativo, e ainda, contribuir para a produção de um conjunto de resultados fidedignos e coerentes, alinhados com o problema de pesquisa e com o objetivo proposto. Desse modo, a validade da pesquisa se consolida em relações pertinentes ao recorte da realidade escolar no qual a problemática – sob a ótica do pesquisador – ainda persiste e aflige estudantes, ou seja, não se orienta apenas por critérios teóricos oriundos do campo científico (Flick, 2009).

Para um mesmo objeto de estudo existem distintas perspectivas para se proceder com a investigação. A perspectiva investigada corresponde a de estudantes do ensino básico público que manifestaram equívocos mediante interações com o ambiente escolar e suas características representacionais, em um contexto instrucional. A liberdade para avaliar e escolher o ponto de vista que mais se adequa com o processo de resolução do problema estabelecido, indica a existência de diferentes públicos com concepções próprias acerca de uma mesma problemática, sendo todas válidas e genuínas. O viés adotado corresponde a um dos possíveis modos de tratar as situações examinadas, justamente por concorrerem em par de igualdade (Flick, 2009).

Toda trajetória investigativa demanda escolhas, e de certo modo sofre influências devido as preferências teóricas e de método do pesquisador. Parte da subjetividade de quem investiga permanece imbuída no estudo. Porém, na pesquisa qualitativa se reconhece e valoriza sua marca e relevância, ainda que devidamente delimitada e exercida com rigor e transparência, o que permite sua integração ao processo de investigação realizado e ao conhecimento científico construído (Flick, 2009), acerca da produção de significados desviantes por estudantes.

Os resultados alcançados elucidam aspectos problemáticos vinculados ao processo educacional pertinente à disciplina de física. Isso caracteriza o presente estudo como uma pesquisa de natureza *aplicada* devido ao valor prático atribuído às inovações produzidas. Ou seja, o foco reside na elaboração de um conhecimento legítimo e útil, que permita transformar realidades e renovar perspectivas, ao concentrar novos olhares em incertezas e dificuldades persistentes e antigas (Kauark; Manhães; Medeiros, 2010). Para isso, a investigação deve contemplar o delineamento das condições de aplicação de suas asserções, dos limites, das consequências, assim como dos fatores para a operacionalização e empregabilidade do conhecimento construído. Os problemas que mobilizam tal modalidade de pesquisa são de ordem prática, o que por sua vez demanda um corpo de resultados coerentes com os elementos de realidade examinados, viáveis de serem aplicados efetivamente (Gil, 2008). Ou seja, as metas investigativas se dirigem à produção de conhecimentos de uso predeterminado, ao envolver contingências e demandas locais (Kauark; Manhães; Medeiros, 2010).

O processo de ensino, avaliação, aprendizagem e de desenvolvimento de competências práticas e percepto-cognitivas é multifatorial. O estudo de fatores educacionalmente relevantes – com aspirações explicativas – corresponde a uma ação intelectual a partir da qual ideias inovadoras podem emergir, com potencial para fundamentar progressivamente as necessárias mudanças para a educação científica e o trabalho, no século XXI (Di Battista; Grayling; Hasselaar, 2023). Na pesquisa explicativa busca-se pelo delineamento dos principais elementos que determinam, ou então, que favorecem a ocorrência dos fenômenos de interesse (Gerhardt; Silveira, 2009; Gil, 2008).

As fontes de dados e informações utilizadas foram documentos de diferentes tipos, escritos ou não, o que caracteriza o procedimento como documental (Marconi; Lakatos, 2003). Uma adaptação dessa ideia – realizada na presente pesquisa – consiste em reconsiderar a condição de *documento* conforme a perspectiva semiótica de *texto*, na qual se entende tratar dos significados produzidos pelo ímpeto interpretativo humano em relação às várias partes do mundo sensível, o que se estende para além da limitada ideia de *texto escrito* (Volli, 2012). O conteúdo selecionado se origina de fontes primárias (versões originais) e contemporâneas, até então não submetido a qualquer tipo de tratamento analítico (Gerhardt; Silveira, 2009).

O foco da análise abrange as relações entre as características representacionais em multimodos. O material coletado contém um conjunto de situações didáticas – desenvolvidas por estudantes de física do ensino médio – durante as quais surgiram equívocos provocados por *affordances* negativos (Gibson, 1986; Laburú; Silva; Camargo Filho; Zômpero, 2023; Laburú; Silva; Zômpero, 2017; Silva; Laburú, 2017). Os dados mais representativos foram selecionados para a etapa analítica. As situações didáticas mencionadas acima, correspondem a uma parte das atividades realizadas normalmente ao longo dos anos letivos considerados, exercidas mediante a valorização e o enriquecimento da multimodalidade nas escolas. Ou seja, não se tratam de atividades elaboradas e aplicadas especialmente para o desenvolvimento da presente pesquisa, mas sim, de práticas escolares cotidianas orientadas por uma metodologia focada na diversidade representacional.

As condições de contorno envolvem os seguintes fatores. As situações didáticas ocorreram ao longo dos períodos de aula previstos

curricularmente em turmas do ensino médio de três escolas públicas paranaenses. O pesquisador ocupou a função de docente ao longo de toda a investigação, condição que lhe propiciou coletar dados de março de 2020 até abril de 2024. A principal disciplina ministrada durante o período de investigação foi a de física. Em 2023, devido ao *novo ensino médio*, aos segundos anos – referentes à área de exatas – foi ofertada a componente curricular *robótica I*. Do mesmo modo, em 2024, aos terceiros anos duas novas disciplinas foram integradas ao currículo. Além da *robótica II*, como continuação da *robótica I*, foi inserida a disciplina *energia e astronomia*.

As disciplinas *energia e astronomia*, *robótica I* e *robótica II* tratam de conteúdos específicos da física, e por isso foram consideradas relevantes à investigação. No quadro a seguir, constam informações relativas às escolas investigadas (codificadas por C1, C2 e C3, conforme especificações apresentadas no quadro 3).

Quadro 2 – Informações referentes ao ano, instituição, turma, número de aprendizes por turma, nome da disciplina, aulas por semana e existência de laboratório.

Ano e Instituição	Turma (ensino médio)	Nº de aprendizes	Disciplina	Aulas por semana	Laboratório
2020					
C1	1A	35	física	2	sim
	1B	30	física	2	
	1C	28	física	2	
	3A	32	física	2	
	3B	30	física	2	
C2	1C	40	física	2	não
	1D	38	física	2	
C3	1D	33	física	2	sim
	1E	37	física	2	
2021					
C1	1A	36	física	2	sim
	1B	33	física	2	
	2A	30	física	2	
	2B	32	física	2	
	3A	30	física	2	
C2	1A	35	física	2	sim
	1B	36	física	2	
	1C	35	física	2	
	2C	34	física	2	
	2D	30	física	2	

“continua”

Quadro 2 – Informações referentes ao ano, instituição, turma, número de aprendizes por turma, nome da disciplina, aulas por semana e existência de laboratório.

“continuação”

Ano e Instituição	Turma (ensino médio)	Nº de aprendizes	Disciplina	Aulas por semana	Laboratório
2022					
C1	1B	34	física	2	sim
	1C	30	física	2	
	2A	32	física	2	
	2B	34	física	2	
	3A	31	física	2	
	3B	32	física	2	
C2	1A	34	física	2	sim
	1B	36	física	2	
	1C	34	física	2	
2023					
C1	1A	33	física	2	sim
	1B	32	física	2	
	3A	29	física	2	
C2	1C	31	física	2	sim
	1D	29	física	2	
	3C	30	física	2	
	3D	28	física	2	
C3	2C	32	robótica I	2	sim
2024					
C1	1A	30	física	2	sim
	1B	32	física	2	
	1C	35	física	2	
	3A	30	física	2	
	3B	31	física	2	
C2	2D	32	robótica I	2	sim
	2E	34	robótica I	2	
	3A	30	robótica II	2	
	3B	31	robótica II	2	
	3A	30	energia e astronomia	3	
	3B	31	energia e astronomia	3	

Fonte: o próprio autor.

A elaboração do instrumento analítico semiótico contou com um conjunto de conceitos que fundamentam o processo de produção de significados. Ao analisar semioticamente equívocos induzidos por *affordances* negativos, em diferentes combinações de modos representacionais, não foram identificadas restrições à aplicação do instrumento de análise proposto, ao menos em relação aos dados coletados. De modo geral, tal aparato analítico se estrutura com base no conceito de *affordance negativo*, expande seu alcance e se ajusta aos contextos instrucionais de física por meio da *multimodalidade representacional*, e ainda,

viabiliza um método para identificar, descrever e justificar as relações entre características representacionais em multimodos pelas vias da *semiótica*. Cada eixo teórico supracitado suporta e complementa o par de eixos adjacentes.

As ideias e os conceitos abordados nos capítulos teóricos cumprem quatro principais funções. Os conceitos de *affordance*, multimodalidade, unidade de significado e contexto dão forma ao instrumento analítico semiótico. Parte das conceituações discutidas participam diretamente da análise, de acordo com a situação didática examinada, tais como a ambiguidade e o efeito de redundância. As conceituações restantes embasam a validade do instrumento proposto, por meio da decodificação aberrante e do postulado do potencial comunicativo, e também, orientam o planejamento de reconsiderações quanto aos processos instrucional e investigativo, sendo exemplos, a dimensão semiótica, a dimensão epistêmica e a dimensão epistemológica, cuja finalidade consiste em justificar a ocorrência de uma aprendizagem de qualidade desenvolvida com base na multimodalidade.

A identificação das situações didáticas de interesse envolveu a participação ativa dos estudantes. Por meio da utilização dos recursos materiais e simbólicos disponíveis, as falas, os escritos e as gesticulações manifestas serviram como indicadores dos equívocos do tipo considerado para a investigação. Tais recursos não foram produzidos ou planejados pelo docente com tal finalidade. Se tratam de materiais comuns à aplicação didática, disponíveis em sites, livros e outras bases, sendo exemplos, simuladores, *slides*, gráficos, notícias, a regra da mão direita, experimentos, infográficos, dentre outros.

O registro dos dados e de informações complementares contou com diferentes estratégias de captação. Na maioria dos casos se procedeu com a elaboração de anotações após cada ocorrência, somada ao registro de fotos representativas das circunstâncias. Quando houve diálogo estendido relevante entre professor e estudantes, se procedeu com a gravação de áudio. Nos casos de experimentos, apresentações, seminários, jogos e atividades semelhantes, se utilizou a gravação audiovisual (Bardin, 2011), sendo uma prática comum estabelecida culturalmente no cotidiano das turmas.

A testagem da validade dos diferentes tipos de fonte de dados e informações deve garantir a fidedignidade dos materiais selecionados (Marconi; Lakatos, 2003). Para corroborar o validamento do *corpus* e posteriores etapas analíticas, se procedeu com a estratégia de triangulação (Paiva Júnior; Leão; Mello,

2011). Nesse processo dois ou mais integrantes do grupo de estudo conhecedores da linha de pesquisa em desenvolvimento examinaram a análise dos dados. As considerações produzidas contribuíram para a filtragem das situações didáticas mais relevantes, no refinamento do instrumento analítico, assim como na redução de subjetividades, o que por sua vez tornou o tratamento analítico mais objetivo e rigoroso (Paiva Júnior; Leão; Mello, 2011).

As falas, as anotações e outros comportamentos dos estudantes também serviram como indicadores, na forma de dados. Ou seja, auxiliaram na explicitação das relações entre as características representacionais relevantes à produção de significado na perspectiva de cada discente. Assim, as manifestações verbais oral e escrita, e gesticulações participam do processo de investigação ao proporcionarem um relativo acesso às noções e raciocínios formais e informais dos estudantes – no momento de ocorrência de cada equívoco – integrados à estrutura dos significados desviantes analisados.

Em uma planilha, após a remoção dos elementos verbais não relevantes (limpeza) e organização dos registros e informações, se procedeu com a padronização de códigos (formalização dos dados). A codificação dos dados obedeceu a ordem de surgimento dos materiais, com preferência pelos casos que melhor representaram o fenômeno investigado (representatividade).

Os códigos empregados se dividem em: fala (F), escrita (E), gesticulação (G) e aprendiz (A). Por exemplo, para o primeiro aprendiz em sua segunda fala se destina A01-F2. Da mesma forma, a terceira gesticulação da quarta aluna se representa por A04-G3, assim como para o segundo trecho de um texto escrito pelo quinto aluno se codifica A05-E2. A referida codificação contribuiu para um processo ordenado de descrição e fragmentação dos indicadores (Bardin, 2011). Os códigos e seus respectivos significados estão organizados no quadro 3, a seguir.

Quadro 3 – Códigos utilizados, significados e observações.

Código	Significado	Observação
C1	colégio 1	nome não divulgado
C2	colégio 2	nome não divulgado
C3	colégio 3	nome não divulgado
F	fala	representação verbal falada
G	gesto	representação gestual
E	escrito	representação verbal escrita
A	aprendiz	estudante selecionado

Fonte: o próprio autor.

Nas conversas entre discentes e docente durante as instruções, normalmente, gesticulações se manifestam. Ao longo da análise, conforme a descrição das falas é apresentada, o código referente a ação gestual realizada ocupa um local específico “dentro” do texto, de modo a indicar seu momento de ocorrência dentro da referida enunciação. Ao final da transcrição das falas dos estudantes seguem as descrições das gesticulações produzidas – nos casos em que foram relevantes – pois o ato de gesticular participa do desenvolvimento do raciocínio formal e informal manifesto.

Quanto a descrição dos aspectos selecionados relacionados ao contexto instrucional e do instrumento analítico semiótico proposto, pormenorizamos a seguir a sequência dos tópicos abordados ao longo do detalhamento e análise de cada situação didática explorada. Foram considerados aspectos particulares relevantes do contexto geral. Assim, a emergência de equívocos induzidos por *affordances* negativos se deu mediante relações entre o contexto e os estudantes, enriquecidas por uma diversidade representacional fomentada com intencionalidade didática e investigativa, em uma dimensão percepto-cognitiva considerada com base em uma perspectiva semiótica.

Inicialmente, cada *situação didática* seguiu para a codificação numérica. O *ano escolar*, o *tema*, o *objeto de estudo* e o *conceito* estudado definem o contexto curricular, organizados em um quadro. O *contexto de aplicação* especifica os conteúdos ensinados antes do equívoco ocorrer e a contextualização realizada pelo docente no momento instrucional. Por meio de uma *foto* aspectos visuais das circunstâncias que envolveram o equívoco identificado são informados. Em *especificações representacionais* os modos representativos presentes em cada situação didática são definidos, assim como, as representações que configuram a base perceptiva a partir da qual a produção de significados do tipo investigado ocorreu. Na *descrição da situação de equívoco* as ações realizadas pelo professor, o que foi explicado e o instante do equívoco são descritos, ao se estabelecer os parâmetros instrucionais que delimitaram cada caso. Em *manifestações do estudante – indicadores do equívoco* especificam-se as falas, escritos, movimentos do corpo e gestos relevantes dos estudantes envolvidos, na condição de informações auxiliares à interpretação dos dados. No item *equívoco induzido* uma interpretação do pesquisador sintetiza e engloba as relações representacionais indutoras do equívoco, os discursos, os gestos e os aspectos contextuais

considerados. Em *contexto disciplinar* uma breve explicação situa o equívoco em relação ao que – do ponto de vista da física – se entende como coerente. Por fim – na condição de resposta à questão de pesquisa – a *identificação e descrição* das características representacionais são apresentadas, acompanhadas da *justificação* semiótica acerca das relações entre as características representacionais da situação didática analisada. Para tal, além de conceitos específicos como ambiguidade, transferência de aprendizagem e o efeito de redundância, os raciocínios formais e informais manifestos pelos estudantes – assim como suas atitudes – são considerados na formulação das argumentações.

No quadro a seguir, constam as informações organizadas acerca dos dados analisados na presente tese. Com base na participação efetiva de quatorze estudantes do ensino médio, foram identificadas sete situações didáticas envolvendo conteúdos de física, a partir das quais emergiram os dezenove equívocos induzidos investigados.

Quadro 4 – Informações referentes aos dados analisados.

Situação didática	Quadro	Figura	Aprendiz	Equívoco induzido
1	4	1	A01	01
2	5	2	A02	02
3	6	3	A03	03
4	7	4	A04	04
5	8	5	A05	05
			A06	06
6	9	6	A07	07
			A08	08
			A09	09
			A10	10
				11
			A11	12
		A12	13	
7	10	7	A13	14
				15
				16
			A14	17
				18
				19

Fonte: o próprio autor.

A seguir, apresentamos a estrutura geral de investigação que inclui uma parte introdutória descritiva, seguida do instrumento analítico semiótico propriamente dito. De acordo com a situação didática analisada, houve a utilização de elementos teóricos específicos para o desenvolvimento da justificação acerca das

relações entre as características representacionais, o que representa parte dos resultados alcançados por meio da presente pesquisa.

Quadro 5 – Estrutura descritiva contextual e analítica dos dados e informações.

<p>Descrição dos aspectos selecionados relacionados ao contexto instrucional</p>	<p>Situação didática 0 Quadro 0 – Detalhamento do contexto curricular acerca da situação didática 0.</p> <table border="1" data-bbox="437 510 1235 672"> <tr> <td rowspan="4">Contexto Curricular</td> <td>Ano escolar</td> <td>[Detalhamento por escrito]</td> </tr> <tr> <td>Tema</td> <td>[Detalhamento por escrito]</td> </tr> <tr> <td>Objeto de estudo</td> <td>[Detalhamento por escrito]</td> </tr> <tr> <td>Conceito</td> <td>[Detalhamento por escrito]</td> </tr> </table> <p>Fonte: o próprio autor.</p> <p>Contexto de aplicação [Detalhamento por escrito].</p> <p>Figura 0 – Foto representativa da situação didática 0.</p> <div data-bbox="437 853 1235 1010" style="border: 1px solid black; text-align: center; padding: 20px;"> <p>Imagem Representativa</p> </div> <p>Fonte: o próprio autor.</p> <p>Especificações Representacionais [Detalhamento por escrito].</p> <p>Descrição da situação de equívoco [Detalhamento por escrito].</p> <p>Manifestações de A00 – indicadores do equívoco [Detalhamento por escrito].</p> <p>Equívoco induzido 00 [Detalhamento por escrito].</p> <p>Contexto disciplinar [Detalhamento por escrito].</p>	Contexto Curricular	Ano escolar	[Detalhamento por escrito]	Tema	[Detalhamento por escrito]	Objeto de estudo	[Detalhamento por escrito]	Conceito	[Detalhamento por escrito]
Contexto Curricular	Ano escolar		[Detalhamento por escrito]							
	Tema		[Detalhamento por escrito]							
	Objeto de estudo		[Detalhamento por escrito]							
	Conceito	[Detalhamento por escrito]								
<p>Instrumento analítico semiótico</p>	<p>Identificação e descrição dos <i>affordances</i> negativos [Detalhamento por escrito].</p> <p>Justificação [Justificação por escrito].</p>									

Fonte: o próprio autor.

6 ANÁLISE DOS DADOS E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo apresentamos um conjunto de análises individuais acerca dos dados coletados ao longo do estudo, juntamente com as respectivas discussões que configuram parte dos resultados obtidos. Por meio da interpretação dos dados elaboramos entendimentos precisos acerca das relações entre as características representacionais em multimodos, presentes em cada situação didática considerada. Com base nas manifestações dos estudantes procedemos com o levantamento de indicadores relativos aos equívocos induzidos por *affordances* negativos, o que permitiu elucidar semioticamente os casos analisados. Na sequência, as sete situações didáticas mais representativas foram analisadas.

Situação didática 1

Quadro 6 – Detalhamento do contexto curricular acerca da situação didática 1.

Contexto Curricular	Ano escolar	3º ano do novo ensino médio (3º trimestre)
	Tema	campo magnético I
	Objeto de estudo	ímã em forma de barra
	Conceito	configuração do campo magnético (linhas de campo orientadas por setas) gerado por um ímã em forma de barra

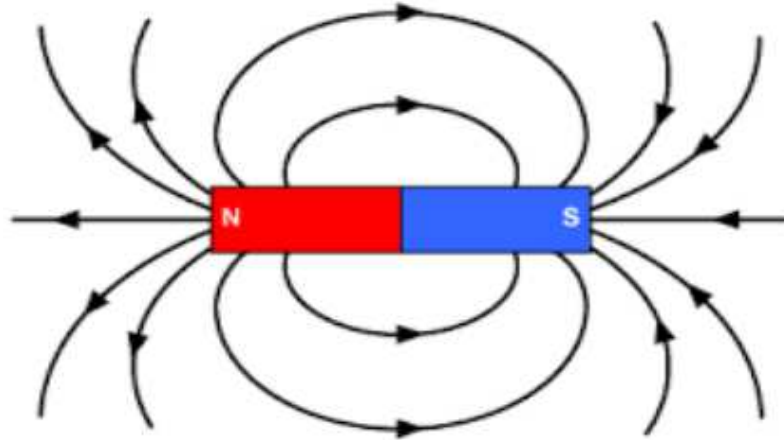
Fonte: o próprio autor.

Contexto de aplicação

Em aulas anteriores, conceitos relacionados ao campo elétrico, força elétrica, corrente elétrica e a estruturação de circuitos elétrico com base em alguns componentes, tais como interruptor, baterias e pilhas, resistores, lâmpadas, fios, materiais condutores e isolantes, foram estudados. Em seguida, a temática magnetismo foi abordada instrucionalmente, não sendo discutida até então em sala de aula, conforme previsto pela estrutura curricular vigente.

Introdutoriamente, a importância do magnetismo em tecnologias (e.g., disco rígido de computador, cartões de crédito) e fenômenos naturais (campo magnético terrestre) foi apresentada. A exposição da representação mostrada na figura 1, marca o início da discussão acerca do campo magnético em um ímã em forma de barra.

Figura 1 – Representação de um ímã em forma de barra e de linhas do campo magnético orientadas por setas (campo magnético gerado nas proximidades).



Fonte: (Paraná, 2023).

Especificações representacionais

No momento da aplicação do recurso – figura 1 – houve a integração de representações do tipo imagética (ilustração de um ímã em forma de barra e linhas de campo magnético nas proximidades), verbal escrita (letras S e N nos polos do ímã; texto explicativo nos *slides* e no quadro), verbal falada (explicações do docente; diálogos dos estudantes) e gestual (de frente para a imagem no *slide*, movimentos das mãos do docente acima da cabeça, uma por vez para indicar lateralidade, ao mostrar que na imagem o sul fica à direita, e o norte fica à esquerda). Dentro do contexto representacional estabelecido, algumas das unidades de significado da representação imagética, verbal escrita e gestual, ao se combinarem, contribuíram para o surgimento do equívoco analisado.

Descrição da situação de equívoco

Ao apresentar a imagem indicada na figura 1, os principais aspectos visuais foram destacados e descritos pelo professor aos aprendizes, tais como o ímã em forma de barra, as linhas de campo orientadas por setas, o polo sul em azul e o polo norte em vermelho. Em relação às linhas de campo, destacou-se sua condição de instrumento explicativo, porém, sem uma existência física na natureza. Também destacou-se que um ímã real em forma de barra tem três dimensões (altura, largura e profundidade), e que o campo magnético igualmente se distribui nas três dimensões espaciais. O equívoco surgiu no momento em que as letras S e N foram associadas aos polos sul e norte, respectivamente.

Manifestações de A01 – indicadores do equívoco

A01-F1 – [...] que interessante... se eu quebrar bem aqui [A01-G1] posso ter dois ímãs, cada um com um polo só. [...] se afastar eles [A01-G2], vou ter polos diferentes e sozinhos [isolados um do outro]. [...] *diferentes* quer dizer que cada pedaço [polo] tem uma cor contrária [opostas no círculo cromático], e *sozinhos* porque não estão mais grudados, e eu posso separar o tanto que eu quero [especialmente].

A01-G1 – o aprendiz aponta com o dedo indicador para a região de interface entre as cores utilizadas para identificar os polos do ímã (norte – parte vermelha; sul – parte azul).

A01-G2 – movimento com as mãos, ao mesmo tempo, palmas para fora do corpo orientadas verticalmente, na altura da cabeça para indicar afastamento em lateralidade (para a direita e para a esquerda, na horizontal).

A atitude de A01 no momento do equívoco indicou uma combinação entre proatividade e imperícia conceitual.

Equívoco induzido 01 (por A01)

Um ímã em forma de barra tem dois polos opostos, por isso ao ser quebrado ao meio em duas partes iguais, uma parte será o polo sul e a outra parte será o polo norte. Cada parte possui um polo magnético diferente, de modo que ambos podem ser separados no espaço. O traço na cor preta que marca a interface entre as cores indica o local onde o ímã pode ser quebrado para que a separação entre os polos ocorra.

Contexto disciplinar

Apesar da existência de teorias nas quais os monopolos magnéticos são considerados hipoteticamente, no âmbito instrucional tal perspectiva não é abordada. De modo direto, destaca-se aos estudantes a impossibilidade dos monopolos magnéticos existirem (carga magnética). A fragmentação de um ímã é tratada em aulas subsequentes, de modo que as condições que estabelecem a contínua existência dos dipolos magnéticos – em detrimento dos monopolos magnéticos – é então explicada. O ímã em forma de barra permite explorar uma configuração simples de distribuição do campo magnético, a partir da qual o conceito de linhas de campo pode ser introduzido. Dessa maneira, o equívoco manifesto por A01 mostra-se avançado em relação às discussões desenvolvidas acerca do

conteúdo abordado.

Identificação e descrição dos *affordances* negativos (para o equívoco induzido 01)

As características representacionais que despertaram uma noção de oposição e de possível separação espacial dos polos magnéticos – para A01 – foram:

- as duas cores empregadas na produção da imagem indicam que toda região vermelha é o polo norte (N), e que toda a parte azul é o polo sul (S);
- a barra reta possui dois lados horizontalmente opostos, marcados simetricamente por S e N nas duas extremidades;
- as cores utilizadas produzem forte impressão visual e são opostas no círculo cromático, quanto as suas classificações entre cores quentes ou cores frias;
- o traço que marca a interface entre as cores destaca com precisão o meio da barra, ao dividir o ímã em duas regiões de mesmo tamanho, bem definidas visualmente;
- as setas presentes nas linhas de campo em determinadas regiões aparentam indicar sentidos opostos entre si;
- a gesticulação realizada pelo docente, ao indicar a lateralidade entre os polos (movimentos em oposição), pois A01 realiza movimentos semelhantes com as mãos para indicar a separação dos polos no espaço.

Justificação (do equívoco induzido 01)

As relações entre as características representacionais componentes das representações imagética, verbal escrita e gestual, citadas acima, por efeito de redundância reforçam e apoiam a ideia de oposição entre os polos do ímã apresentado, o que induziu A01 à concepção de que a divisão do ímã ao meio possibilita a geração de dois polos magnéticos individuais (raciocínio formal indutivo), que podem ser separados no espaço (raciocínio informal por abdução). A gesticulação produzida por A01 contribuiu para o desenvolvimento de suas ideias (raciocínio informal de apoio à produção de relato explicativo). A atitude de A01 mostrou proatividade devido ao seu esforço para elaborar um relato explicativo, porém, foi notada uma imperícia conceitual relativa ao que acontece quando um ímã real é fragmentado em duas partes.

Situação didática 02

Quadro 7 – Detalhamento do contexto curricular acerca da situação didática 2.

Contexto Curricular	Ano escolar	3º ano do novo ensino médio (1º trimestre)
	Tema	processos de eletrização I
	Objeto de estudo	fenômeno de eletrização
	Conceito	eletrização por atrito

Fonte: o próprio autor.

Contexto de aplicação

A abordagem de assuntos relacionados com o estudo dos prefixos, das grandezas físicas e das unidades de medida associadas, da conversão de unidades, de energia e dos modelos atômicos antecederam os conteúdos tratados em processos de eletrização. No tópico *energia*, diferentes tipos de energia, suas respectivas origens em macro escala e algumas das possíveis aplicações tecnológicas orientaram as discussões em relação aos processos de conversão e conservação.

No tópico *modelos atômicos*, buscou-se desenvolver uma visão mais apurada acerca da estrutura da matéria em termos de partículas, ao se apresentar aspectos científicos em seu contexto histórico. Aos estudantes foi orientado que breves menções históricas são simplificações para se apresentar acontecimentos relevantes, porém, sem os devidos aprofundamentos necessários para uma adequada abordagem da história e filosofia da ciência envolvida. Assim, são apresentados o conceito grego de átomo, e os modelos atômicos de Dalton, Thomsom, Rutherford e Rutherford-Bohr. O modelo atômico quântico é brevemente comentado em termos de curiosidade.

Os conteúdos relativos às partículas atômicas (prótons, nêutrons e elétrons), sua estrutura e cargas elétricas positivas, negativas e neutras, são relevantes no tópico referente aos processos de eletrização, não abordado até então em sala de aula, de acordo com o currículo vigente. Ao iniciar a instrução acerca do conceito de eletrização por atrito, a atividade experimental envolvendo um canudo atritado com um papel toalha foi realizado. Após o docente atritar o canudo e aderi-lo à parede, como mostrado na figura 2 (mas ainda sem a presença da caneta), iniciou-se a discussão acerca do efeito observado.

Figura 2 – Um canudo e uma caneta, ambos aderidos à parede.



Fonte: o próprio autor.

Especificações representacionais

No momento da situação experimental representada pela figura 2, houve a integração de representações do tipo 3D (papel toalha atritado contra um canudinho cilíndrico de refrigerante feito de plástico; a parede da sala em cores claras, rígida e na vertical; uma caneta de plástico transparente de laterais planas e lisas), verbal falada (diálogo entre docente e estudante) e gestual (movimentações bruscas com as mãos, do docente para se atritar o papel toalha contra o canudo, e do estudante para forçar a caneta várias vezes contra a parede). Em relação ao contexto representacional estabelecido, parte das unidades de significado da representação 3D e gestual, uma vez combinadas, contribuíram para o surgimento do equívoco de interesse.

Descrição da situação de equívoco

Após realizar vários movimentos firmes, sempre no mesmo sentido, com o papel toalha pressionado em torno do canudo plástico até eletrizá-lo, e então, aderi-lo à parede, o professor pediu para os estudantes pensarem em possíveis explicações para esse efeito, e também, que compartilhassem suas ideias. Nesse instante, um aprendiz (A02) se levantou, aproximou-se do canudo e, então, atritou uma caneta de plástico contra a parede algumas vezes, até fixá-la, conforme mostra a figura 2. O professor voltou sua atenção para este evento, e ao notar espanto dos outros estudantes, resolveu problematizá-lo. Mas, antes de qualquer ação do professor, A02 iniciou seu relato explicativo, conforme descrito a seguir.

Manifestações de A02 – indicadores do equívoco

A02-F1 – [...] olha aqui professor! [A02-G1] Eu consigo grudar essa caneta na parede. É igual o que acontece com o canudinho que você mostrou agora. Tipo, é do mesmo jeito. É por causa dessa tal eletrização que a caneta cola na parede, né? [...] cola não, éééé é atraída, né? Bom, acho que é isso mesmo. [...] só que a caneta é bem mais pesada, por isso é bem mais difícil fazer.

A02-G1 – o aprendiz chama atenção do professor e da turma – com ênfase no uso das mãos, de abertura corporal, do olhar e por meio de um aumento no volume da voz – para os movimentos que realiza ao atritar a caneta contra a parede com força e firmeza, algumas vezes, até resultar na fixação do objeto.

A atitude de A02 no momento do equívoco indicou uma combinação entre proatividade e imperícia conceitual.

Equívoco induzido 02 (por A02)

O mesmo princípio científico que rege o efeito apresentado pelo canudinho plástico, rege também o efeito apresentado pela caneta. Em ambos os casos, mesma causa e efeito, ou seja, ao realizar atrito nas superfícies dos materiais, a eletrização resultante permite a sustentação dos objetos atritados verticalmente, na parede. Devido ao maior peso, sustentar a caneta por eletrização se torna uma tarefa mais difícil.

Contexto disciplinar

Um canudo atritado contra um pedaço de papel toalha seco, em um dia de baixa umidade (ar seco), ao ser aproximado de outro objeto eletricamente neutro (por exemplo, uma parede) ao ponto de tocá-lo, devido a força elétrica estabelecida manterá contato, e não cairá. A caneta fortemente atritada contra a parede ficará grudada, e também não cairá. Em tais situações, os diferentes fenômenos que sustentam os objetos em suas posições superam a força gravitacional de atração, que puxa constantemente cada objeto em direção ao centro do planeta. Nos experimentos apresentados os objetos atritados não caem após o contato com a parede, no entanto, isso ocorre por motivos distintos. O atrito realizado no canudo com o papel toalha produz um desequilíbrio de cargas elétricas, tanto no papel quanto na caneta, de modo que o canudo obtenha um ganho de

elétrons, deixando-o eletrizado negativamente. Ao ser aproximado da parede, a interação dos campos elétricos entre as superfícies gera uma força elétrica responsável pelo efeito de atração observado. Por sua vez, a caneta atritada contra a parede produz um rápido aumento da temperatura dos materiais envolvidos, assim como a destruição e reconstrução das rugosidades em ambas as superfícies (caneta e parede). Algumas das rugosidades reconstruídas são responsáveis pelo fenômeno de *microsoldagem*, o que gera pontos de vínculo entre o plástico da caneta e a superfície lisa utilizada, sendo exemplos uma parede ou até mesmo uma folha de sulfite. Enquanto o canudo adere em diferentes superfícies, mesmo ao ser movimentado ao longo de pequenas distâncias, ainda persiste a sustentação que o impede de cair. A caneta, por sua vez, adere apenas em superfícies lisas, planas e com rugosidades relativamente rígidas (mas que possam ser deformadas por atrito), e caso seja movida, os vínculos são rompidos e a caneta imediatamente perderá sustentação e cairá. Se ambos os objetos (canudo e caneta) estiverem aderidos em uma parede e não forem atingidos por choques mecânicos, o fenômeno da microsoldagem perdurará por mais tempo do que o fenômeno da eletrização por atrito, pois eventualmente o balanceamento entre as cargas elétricas será restaurado nos materiais.

Identificação e descrição dos *affordances* negativos (para o equívoco induzido 02)

As características representacionais que levaram A02 a conferir a mesma explicação conceitual para os efeitos produzidos em ambos os experimentos foram:

- os objetos permanecem verticalmente fixados na parede, superando momentaneamente a atração gravitacional que atrai ambos para baixo, por um tempo relativamente longo.
- o formato aproximadamente cilíndrico dos objetos, com o comprimento muito maior do que o seu diâmetro, em tamanhos semelhantes;
- o atrito é utilizado na produção e explicação de ambas as situações experimentais;
- os movimentos bruscos realizados para se atritar os materiais.
- a diferença de peso entre o canudo e a caneta ser relativamente pequena.

Justificação

As relações entre as características representacionais componentes das representações 3D e gestual, supracitadas, induziram A02 a concluir que se os efeitos dos experimentos são os mesmos, as causas que os geraram também são as mesmas. Tal suposição emergiu com base no posicionamento e sustentação dos objetos em relação à vertical (raciocínio informal por comparação), com formatos semelhantes (raciocínio formal por abdução), manipulados com base no atrito intenso entre superfícies (raciocínio informal por comparação e classificação), e ainda, ao considerar os pesos da caneta e do canudo (raciocínio informal por comparação), A02 supôs que tal diferença apenas tornou o caso da caneta mais difícil (por ser mais pesada; raciocínio formal por abdução), mas não impossível ao ponto de implicar na necessidade de outro tipo de explicação para o fenómeno observado.

A atitude de A02 se mostrou proativa ao gerar espontaneamente uma explicação subsidiada por uma atividade experimental própria, ao buscar que o experimento apoie seus argumentos e ideias. Porém, foi identificada uma imperícia conceitual, pois os conceitos que embasam os dois experimentos são distintos. No caso do canudo trata-se da eletrização por atrito, e no caso da caneta a explicação pode ser desenvolvida com base no conceito de microsoldagem entre superfícies rugosas.

Situação didática 3

Quadro 8 – Detalhamento do contexto curricular acerca da situação didática 3.

Contexto Curricular	Ano escolar	1º ano do novo ensino médio (2º trimestre)
	Tema	movimento circular uniforme (MCU)
	Objeto de estudo	trajetória de corpos liberados durante o movimento circular uniforme
	Conceito	velocidade tangencial

Fonte: o próprio autor.

Contexto de aplicação

Os conteúdos estudados em aulas anteriores, desde o início do segundo trimestre, envolveram os conceitos de massa, peso, referencial, movimento, repouso, velocidade média, aceleração média e tipos de energia. De acordo com os assuntos estruturados na configuração curricular, a temática do

movimento circular uniforme não foi apresentada até então aos aprendizes. A arma primitiva denominada funda (ou atiradeira) serviu como contexto introdutório para a exposição de alguns aspectos do MCU, tais como, velocidade angular, velocidade tangencial, frequência e período.

Ao final da aula, um desafio foi lançado para um grupo de cinco estudantes da turma. No próximo encontro deveriam trazer um experimento que abordasse algum dos conceitos discutidos acerca do movimento circular uniforme. Assim, na aula subsequente o grupo apresentou a produção de uma atiradeira. No lugar de pedras como projéteis os estudantes trouxeram super-bolas de borracha para efetuar os lançamentos.

Figura 3 – Uma atiradeira produzida com couro, formada por duas tiras compridas conectadas a uma pequena “bolsa” para o alojamento dos projéteis.



Fonte: o próprio autor.

Especificações Representacionais

No momento da utilização do aparato experimental indicado na figura 3, houve a integração de representações do tipo 3D (a atiradeira e as super-bolas de borracha), verbal falada (questionamentos do docente, e respectivas respostas e comentários dos estudantes) e gestual (movimentações com os braços, corpo e mãos do estudante A03 durante a realização dos lançamentos). De acordo com o contexto representacional, algumas das unidades de significado das representações do tipo 3D, ao se combinarem, contribuíram para a manifestação do equívoco investigado.

Descrição da situação de equívoco

Toda a turma seguiu para o pátio do colégio para que as super-bolas de borracha fossem lançadas em espaço aberto. Aos integrantes do grupo foi orientado que acertassem uma árvore, cerca de 10 metros de distância. Nos quatro primeiros lançamentos as super-bolas foram lançadas verticalmente para cima por A03, ou seja, distantes do alvo proposto pelo docente. As manifestações de A03 são apresentadas a seguir.

Manifestações de A03 – indicadores do equívoco

A03-F1 – [...] estou errando demais. [...] eu sou tão bom no estilingue. Não sei como posso ser tão ruim nisso aqui [manipulação da funda], que até parece ser mais fácil. [...] aqui ó [A03-G1], estou soltando a bolinha certinho, no momento certo [A03-G2]. Não sei porque está subindo tanto.

A03-G1 – o aprendiz acena com a cabeça em direção as mãos, para então mostrar a forma como segura e posiciona a funda, em diferentes ângulos ao utilizar movimentos lentos com a finalidade de explicar que suas ações são realizadas com intencionalidade.

A03-G2 – o aprendiz segura a funda com a super-bola alocada na bolsa de couro para o arremesso, e movimentava lentamente o aparato com ambas as mãos ao simular o movimento real, até que a super-bola, a mão que segura os cordões e o alvo estejam alinhados. Nesta posição, fecha um dos olhos, e com o olho aberto realiza a sua pontaria.

Professor – Você comparou a utilização do estilingue com o uso da atiradeira. De que modo isso pode te ajudar no lançamento das super-bolas contra o alvo?

A03-F2 – [...] quando um ônibus faz uma curva, me sinto jogado contra a parede, pra fora. É isso que eu quero que bolinha faça durante a curva, que ela seja jogada pra fora da curva. Pra isso tenho que alinhar igual eu faço no estilingue [mão de apoio, projétil e o alvo].

A atitude de A03 no momento do equívoco indicou uma combinação entre proatividade e imperícia conceitual.

Equívoco induzido 03 (por A03)

Assim como uma pessoa se sente jogada contra a parede de um ônibus (para fora) durante a realização de uma curva, ao se utilizar o movimento circular uniforme de uma atiradeira contendo uma super-bola para se atingir um alvo

posicionado à frente, a liberação (lançamento) deve ocorrer quando a mão que segura as extremidades dos cordões, o projétil e o alvo estiverem alinhados, pois como a bolinha será lançada “para fora” do giro, esse é o melhor momento para o disparo. Com um dos olhos em posição de mira é possível observar tal alinhamento, de modo similar ao que se faz durante o uso de um estilingue.

Contexto disciplinar

A funda é um tipo de arma primitiva, cujo mecanismo de funcionamento baseia-se no movimento circular uniforme. Um dos conceitos relacionados ao estudo do MCU é o da velocidade tangencial. O vetor da velocidade tangencial faz um ângulo de 90° em relação ao raio vetor que conecta o centro da trajetória circular ao projétil que está girando. Caso a corda se rompa ou seja liberada durante o giro, o projétil seguirá no sentido do vetor da velocidade tangencial, no instante em que a força centrípeta deixa de existir. Ou seja, a trajetória de um projétil liberado por uma funda será tangente à circunferência descrita pelo giro. Quando A03 afirma que se sentiu jogado contra a parede de um ônibus durante a realização de uma curva, fisicamente acontece que seu corpo tende a seguir em linha reta devido a sua inércia, mas conforme o ônibus faz a curva, A03 entra em contato com a parede do ônibus, o que lhe confere a sensação de ser jogado contra a parede. No entanto, trata-se de uma força fictícia, pois A03 encontra-se em um referencial não inercial. Na utilização do estilingue, o projétil, a mão de apoio e o alvo devem se alinhar no momento do disparo, o que por sua vez, não pode acontecer no lançamento de um projétil ao se utilizar uma funda. No caso investigado, o projétil foi lançado na vertical para cima devido ao alinhamento indevido. A mira na atiradeira é realizada por meio de um senso de direção adquirido com a prática. De modo geral, a mecânica elástica do estilingue se difere da mecânica giratória da funda, apesar da aparente semelhança entre os aparatos.

Identificação e descrição dos *affordances* negativos (para o equívoco induzido 03)

As características representacionais que conduziram A03 a manipular a atiradeira com base nos procedimentos para utilização de um estilingue foram:

- o movimento circular da atiradeira ser similar ao movimento que o ônibus realiza durante uma curva;

- os aparatos permitem o alinhamento entre o projétil, a mão e o alvo.
- os aparatos possuem uma bolsa para alocar o projétil;
- os aparatos possuem duas tiras longas flexíveis;
- os aparatos são mecanismos feitos à mão, capazes de disparar projéteis.

Justificação

As relações entre as características representacionais componentes da representação 3D, supracitadas, por comparação e semelhança (raciocínios informais pelos quais A03 relacionou sua sensação durante o movimento circular (curva) de um ônibus com o movimento de uma super-bola ao ser lançada por meio de uma atiradeira) e transferência de aprendizagem (raciocínio formal por abdução, por meio do qual concluiu que se a super-bola deveria ser lançada “para fora” da trajetória circular, o posicionamento para lançamento será similar ao do estilingue, pois os alinhamentos são similares), induziram o estudante A03 à noção de que a manipulação da funda se assemelha aos protocolos de utilização do estilingue, que no caso, trata-se de um conhecimento dominado previamente pelo estudante (enciclopédia de A03).

Em relação a atitude de A03, devido a sua preocupação em obter sucesso no cumprimento do desafio estabelecido pelo docente, assim como pela construção de um aparato de qualidade, notou-se um proativismo em suas ações. No entanto, identificou-se uma situação de imperícia conceitual, pois A03 considerou uma sensação produzida em um referencial não inercial para explicar e realizar um experimento produzido em um referencial inercial.

Situação didática 4

Quadro 9 – Detalhamento do contexto curricular acerca da situação didática 4.

Contexto Curricular	Ano escolar	2º ano do novo ensino médio (1º trimestre)
	Tema	robótica I
	Objeto de estudo	funcionamento de um semáforo (3 cores) + pedestres (2 cores)
	Conceito	seleção e montagem dos componentes e programação do código

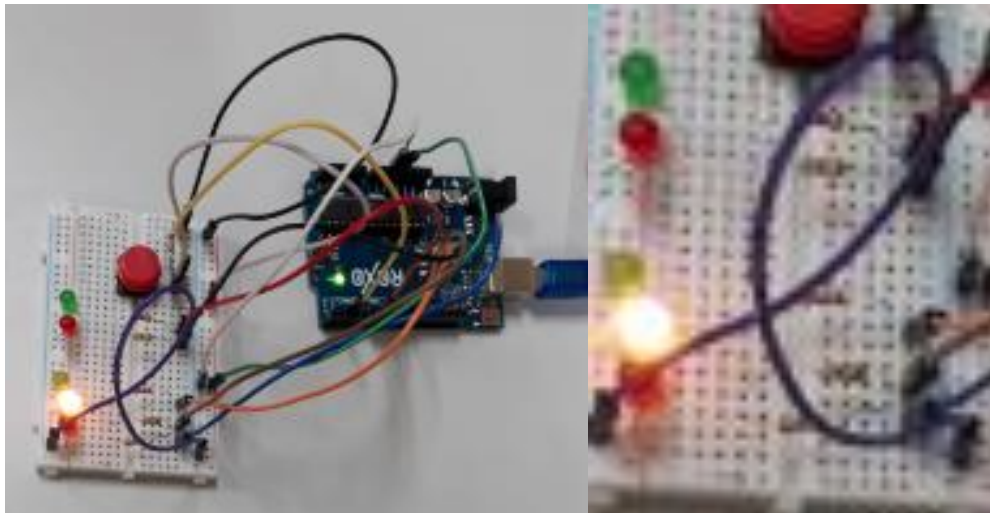
Fonte: o próprio autor.

Contexto de aplicação

Ao longo do primeiro trimestre, os componentes do *kit* de robótica foram identificados, conferidos e listados, as peças mais complexas para esta etapa foram estudadas em particular, situações foram projetadas e exploradas no simulador *Tinkercad* e algumas das práticas previstas no cronograma de conteúdos foram montadas no arduino. O tema da prática *Semáforo + pedestres* não havia sido proposto à turma até então.

Os *kits* e os *chromebooks* (computadores) foram distribuídos para a realização da prática *Semáforo + pedestres*. A atividade consistiu em se desenvolver um conjunto de conexões entre o arduino, o *protoboard* e o *chromebook*. Os aprendizes dividiram-se em seis grupos. Nessa prática (mais complexa que as atividades anteriores), a conexão por meio de *jumpers* (fios condutores macho-macho, macho-fêmea e fêmea-fêmea) foi introduzida. Orientações foram comunicadas ao longo da aula. A montagem da prática é mostrada na figura 4.

Figura 4 – Conexões entre *protoboard* e arduino, com destaque à direita para um *jumper* dobrado (fio condutor roxo).



Fonte: o próprio autor.

Especificações Representacionais

Ao se desenvolver a prática *Semáforo + pedestres* mostrada na figura 4, houve a integração de representações do tipo 3D (*leds*, *protoboard*, arduino, *jumpers*, botão, *chromebook* e resistores), gestual (gesticulação; movimentações dos braços, corpo e cabeça da estudante (A04) e do docente), verbal escrita (orientações nos *slides* e no quadro), programação (definição do

código) e verbal falada (orientações instrucionais; diálogo entre docente e estudantes). Dentro do contexto representacional estabelecido, algumas das unidades de significado das representações 3D e verbal falada, uma vez combinadas, favoreceram o surgimento do equívoco investigado.

Descrição da situação de equívoco

Conforme os grupos prosseguiram com as montagens dos projetos ao longo das aulas, o número de componentes eletrônicos conectados gradativamente aumentou, assim como o número de fios condutores (*jumper*s). Em determinado momento, um dos grupos notou que seus *led*'s acendiam e piscavam de modo diferente do que estava definido no planejamento. Por isso, os componentes foram trocados, toda a instalação no arduino e no *protoboard* foram refeitas e o código de programação estava sendo revisado, em busca por erros de digitação e de caracteres invisíveis. Nesse instante, a aprendiz A04 manifestou-se conforme a seguir.

Manifestações de A04 – indicadores do equívoco

A04-F1 – [...] [A04-G1] o fio roxo conectado está torto... tipo dobrado... é por isso que o semáforo não está funcionando. [...] a corrente acaba não passando direito... eu acho que é muito fininho [o *jumper* roxo]. [...] aqui [A04-G2] a corrente tem mais dificuldade para conseguir passar.

A04-G1 – desde o início da fala acima, A04 se esforça constantemente para endireitar com as mãos a parte do fio condutor que está curvo, e a cada movimento de ajuste observa se os *leds* começam a funcionar conforme as especificações do projeto.

A04-G2 – a aprendiz aponta com o dedo indicador para uma parte do fio condutor (*jumper* roxo) que está curvo em forma de laço, mas não totalmente dobrado.

Neste momento, o professor pede licença, e então, dobra o fio totalmente no ponto de curvatura indicado (que está em forma de laço), e pergunta para A04 quais as consequências de tal ação para o funcionamento do circuito (*semáforo + pedestres*).

A04-F2 – Viiiiixi... agora que os *led*'s não vão ligar [A04-G3]. Dobrou de vez [risadas]. [...] então, dobrado desse jeito não vai passar corrente pelo fiozinho. [...] ficou igual quando se faz uma dobra na ponta da mangueira do jardim pra não sair mais água.

A04-G3 – ao levar umas das mãos abertas até a boca com expressão de espanto, se afasta do aparato e para de manipular os componentes eletrônicos.

Professor – Quando disse a palavra *corrente*, ao que você se referia?

A04-F3 – “hum, tipo, corrente... corrente. Corrente elétrica, corrente de água. Tem como usar nos dois casos. É meio que parecido pra mim.”

A atitude de A04 durante o equívoco indicou uma combinação entre proatividade, imperícia conceitual e redução de proatividade no final da abordagem.

Equívoco induzido 04 (por A04)

Os fios condutores utilizados em circuitos elétricos não podem ser muito finos, ou então dobrados, pois quanto mais fino ou curvo um fio estiver, menos corrente elétrica passará pelo interior desse fio, ao ponto de resultar em um mau funcionamento do equipamento. Desse modo, um fio condutor é semelhante a uma mangueira de jardim, por onde passa uma *corrente*. Nesses casos, os fluxos (de eletricidade pelo fio e de água pela mangueira) que passam pelo interior dos tubos, apesar de serem compostos por diferentes substâncias, podem ser bloqueados por uma barreira mecânica (uma dobra total do tubo responsável pela condução dos fluídos).

Contexto disciplinar

Os fios condutores normalmente são produzidos a partir de cobre flexível encapado por algum tipo de material isolante (e.g., plástico). Ao ser conectado em um circuito com a função de permitir a passagem de corrente elétrica de um ponto até outro ponto, mesmo que o fio condutor em questão seja totalmente dobrado, e contanto que não se rompa nesse processo, haverá uma corrente elétrica percorrendo-o caso uma DDP (diferença de potencial) elétrica seja estabelecida.

Devido a força elétrica gerada pela interação entre o campo elétrico estabelecido no fio (polos da bateria) e o campo elétrico dos elétrons livres fracamente ligados, tais elétrons se movem pelo arranjo atômico do cobre. Assim, dobras mecânicas no fio condutor não impedem o deslocamento dos elétrons, pois o

tamanho reduzido das partículas garante que seu movimento não será restringido por um bloqueio macroscópico.

Identificação e descrição dos *affordances* negativos (para o equívoco induzido 04)

As características representacionais que induziram a aprendiz A04 a argumentar que o semáforo não funcionava devido a uma dobra no fio condutor foram:

- a semelhança (de aparência, formato, flexibilidade e utilização) entre o *jumper* roxo e uma mangueira de jardim;
- tanto o *jumper* quanto a mangueira de jardim são percorridos por um fluxo (corrente);
- o termo *corrente* foi utilizado tanto para a eletricidade que percorre o *jumper* quanto para a água que percorre a mangueira de jardim.

Justificação

As relações entre as características representacionais 3D e verbal falada, mencionadas acima, por analogia (raciocínio informal por comparação) e ambiguidade lexical por polissemia (termo *corrente*) induziram A04 à noção de que o funcionamento de um fio condutor elétrico seja similar ao funcionamento de uma mangueira de jardim percorrida por água. Tal analogia é comum, mas tem suas limitações. Sem uma mediação docente adequada, A04 espontaneamente concebeu tal analogia, no entanto, considerou detalhes que a analogia não suportou, e por equívoco considerou que se uma *corrente* de água pode ser barrada por uma dobra mecânica na mangueira de jardim, a *corrente* elétrica também poderá ser bloqueada ao se dobrar o *jumper* condutor.

Em relação a atitude de A04, no momento do equívoco notou-se inicialmente uma tendência proativa, pois estava constantemente em busca de solucionar o problema enfrentado pelo grupo. Porém, ao tratar o *jumper* de modo similar a uma mangueira de jardim, estabeleceu-se uma situação de imperícia conceitual, pois não respeitou as limitações de sua analogia. Por fim, houve uma perda de proatividade próximo ao final da abordagem, devido a atuação docente que, por um lado permitiu a manifestação de novos indicadores do equívoco, mas por outro, desmotivou A04 em relação a abordagem da situação-problema ainda não solucionada.

Situação didática 5

Quadro 10 – Detalhamento do contexto curricular acerca da situação didática 5.

Contexto Curricular	Ano escolar	1º ano do novo ensino médio (1º trimestre)
	Tema	velocidade média
	Objeto de estudo	o deslocamento de um móvel (carro) ao longo de uma estrada
	Conceito	velocidade média dada pela posição x tempo

Fonte: o próprio autor.

Contexto de aplicação

Os conteúdos abordados previamente envolveram discussões acerca dos movimentos entre Terra e Lua, a interação gravitacional entre ambos, seguido do estudo do movimento dos objetos com enfoque no estabelecimento de referenciais. Conforme a estrutura curricular vigente, até então o conceito de velocidade média não foi explorado ao longo das aulas.

Após mencionar exemplos onde o conceito de velocidade média pode ser aplicado (e.g., radar de velocidade média) e definir as grandezas físicas envolvidas no seu cálculo, registrou-se tal equação no quadro. Após realizar uma análise de proporcionalidade, procedeu-se com uma análise das unidades de medida (análise dimensional). Na sequência, a proposição de um exercício para a aplicação do equacionamento permitiu contextualizar e problematizar uma situação real. A parte ilustrada do exercício é apresentada na figura 5.

Figura 5 – Ilustração de um carro em dois momentos, com destaques para a posição e o tempo de saída e chegada.



Fonte: (Paraná, 2022).

Especificações Representacionais

Na discussão da situação-problema especificada pela figura 5, houve a integração de representações do tipo imagética (ilustração de um automóvel em dois momentos distintos, ao indicar movimento por uma estrada, com as posições e os tempos de saída e chegada registrados), 3D (relógio de parede com

ponteiros), verbal falada (explicação docente; diálogo entre docente e estudantes), verbal escrita (orientações escritas nos *slides* e no quadro; as letras A e B na ilustração, unidades de medida na ilustração), gestual (gesticulações do docente indicando o sentido de movimento do carro ao longo da viagem, da direita para a esquerda, conforme a sequência lógica comunicada pela imagem), numérica (indicação de valores e prefixos (símbolo) na ilustração) e equação (no quadro, definição das relações matemáticas de igualdade relativas ao fenômeno natural *velocidade média*). Nesse contexto representacional, algumas das unidades de significado das representações imagética, 3D, gestual, verbal escrita, verbal falada e numérica, uma vez combinadas, contribuíram para a manifestação dos equívocos investigados, tratados a seguir.

Descrição da situação de equívocos

Um exercício para o cálculo da velocidade média, conforme dados especificados na figura 5, foi proposto para a turma. Após o docente descrever a ilustração (figura 5) e realizar a leitura do enunciado os estudantes iniciaram o processo de resolução. Depois de alguns minutos destinados ao desenvolvimento da atividade, o docente solicitou que um estudante voluntário resolvesse o problema no quadro. Assim, A05 manifestou seu equívoco, o que mobilizou A06 a propor um relato explicativo alternativo, no entanto, igualmente equivocado. As manifestações de A05 e A06 que permitiram identificar ambos os equívocos são descritas a seguir.

Manifestações de A05 e A06 – indicadores dos equívocos

- A05-F1 – [...] bom, [A05-G1] 11:00h eu posso escrever 11,00 horas. [...] 12:30h eu posso falar que é meio-dia e meia, então 30 vale metade [de uma hora]. [...] [A05-G2] se 11:00h vale 11,00 horas, então 12:30h vale 12,30 horas. [...] é só trocar [A05-G3] esse [:] por [A05-G4] esse [,]. [...] é meio que só repetir essa ideia [raciocínio], [A05-G5] daqui [esquerda] pra cá [direita].
- A05-G1 – descreve o raciocínio em voz baixa – apenas para o professor que se mantém próximo – enquanto desenvolve o cálculo no quadro.
- A05-G2 – olha atentamente para a figura 5.
- A05-G3 – aponta com o dedo indicador para o sinal “:” em 12:30, no cálculo feito no quadro, e o move (o dedo) para a direita.
- A05-G4 – aponta com o dedo indicador para o sinal “,” em 12,30, no cálculo feito no quadro, com um movimento vindo da esquerda.

A05-G5 – movimento com a mão indicando “da esquerda para a direita”, com base na ilustração indicada na figura 5.

Nesse momento uma estudante (A06) interfere na conversa e se manifesta:

A06-F1 – [...] pensando no que você disse [falando com o estudante A05], [A06-G1] se você olhar para o relógio [de ponteiros], 30 minutos fica no lugar do 6, então o correto não seria escrever meio-dia e meia como 12,6 horas?

A06-G1 – aponta com o dedo indicador para o relógio fixado na parede, na frente da sala.

Nesse momento ambos ficam pensativos, e por fim chegam a um impasse conclusivo. As atitudes de A05 e A06 no momento do equívoco indicaram combinações entre proatividade e imperícia conceitual, conforme as especificidades dos estudantes em cada caso.

Equívoco induzido 05 (por A05)

Se 11:00h equivale a 11,00 horas, então 12:30h equivale a 12,30 horas. A conversão dos horários pode ser obtida pela troca direta do sinal “:”, pelo sinal “,”, pois não importam os valores envolvidos.

Equívoco induzido 06 (por A06)

Se no relógio de ponteiros o ponteiro maior indica 30 minutos no momento que está alinhado com o dígito 6, isso quer dizer que 12:30h equivale a 12,6 horas.

Contexto disciplinar

No caso apresentado, a contagem do tempo em minutos é realizada no sistema sexagesimal (base 60). A conversão solicitada no exercício exige que um valor no sistema sexagesimal seja convertido para um valor no sistema decimal (base 10). Porém, tais sistemas não são explicitamente revisados no momento em que a atividade é apresentada, uma vez que o estudo desses tópicos é desenvolvido no ensino fundamental. Apesar dos temas acima referidos se tratarem de assuntos abordados na disciplina de matemática, a habilidade de conversão de unidades e de valores é frequentemente requerida na disciplina de física. Por isso, os equívocos 05

e 06 foram tratados como relevantes para o ensino de física, o que justifica a análise e discussão de ambos os casos na presente investigação.

Identificação e descrição dos *affordances* negativos (para o equívoco induzido 05)

As características representacionais que levaram A05 a raciocinar que 12:30h equivale a 12,3 horas foram:

- vários elementos representacionais da figura 5 induziram A05 a realizar uma leitura da esquerda para a direita (a frente do carro aponta para a direita; a saída (ponto A) ocorre na esquerda e a chegada (ponto B) ocorre na direita; tanto o horário (relógios) quanto os valores dos quilômetros (placas) aumentam no sentido positivo (noção implícita da reta numérica horizontal (da esquerda para a direita));

- as orientações do professor seguiram uma sequência lógica com base em gesticulações (movimento da mão/braço para indicar a saída, a movimentação do automóvel ao longo da viagem, e a chegada) e explicações (referente ao movimento do carro na estrada durante a viagem, da esquerda para a direita, em relação a posição de quem está observando a imagem), o que reforçou o percurso de leitura, da esquerda para a direita;

- a primeira conversão de 11:00h para 11,00 horas mantém o posicionamento dos números ao se trocar “:” por “,”.

- 11:00 é visualmente mais simples do que 12:30 (o processo de conversão avança do mais simples (esquerda) para o mais complexo (direita)).

Justificação (do equívoco induzido 05)

As relações entre as características representacionais do tipo numérico, gestual, imagético, verbal escrito e verbal falada, mencionadas acima, induziram A05 a estabelecer um percurso consistente de leitura da esquerda para a direita (efeito de redundância devido a concatenação de relações representacionais). Isso fez com que a linha de raciocínio de A05 fosse construída nesse sentido. Inicialmente, o aprendiz converte 11:00h para 11,00 horas, o que de certa forma está correto, exceto pelas duas casas de precisão. No entanto, como A05 continuamente tem seu percurso de leitura induzido, o raciocínio desenvolvido no momento retratado na esquerda da figura 5 torna-se igualmente válido (raciocínio informal por comparação) no momento retratado na direita dessa ilustração, o que se

torna uma opção simples, viável e coerente (raciocínio formal por indução), porém, incorreta. Assim, no momento retratado à direita da figura 5, o aprendiz também troca “:” por “,” e conclui que 12:30h equivale a 12,30 horas.

A atitude de A05 durante o equívoco indicou proatividade, pois ao buscar superar sua condição de timidez, se voluntariou para resolver uma questão de cálculo no quadro. Porém, uma situação de imperícia conceitual foi identificada, pois A05 aplicou o mesmo raciocínio de conversão de valores em dois casos distintos, sendo que no segundo caso (em 12:30h) tal estratégia se mostrou inadequada.

Identificação e descrição dos *affordances* negativos (para o equívoco induzido 06)

As características representacionais que conduziram A06 a propor que 12:30h equivale a 12,6 horas foram:

- um trecho da fala de A05 (“[...] 12:30h eu posso falar que é meio-dia e meia, então 30 vale metade [...]”);
- a palavra *meia* utilizada para *metade*, também foi empregada para *seis*;
- a numeração (números arábicos) presente em um relógio analógico de ponteiros fixado na parede, na frente da sala de aula.

Justificação (do equívoco induzido 06)

As relações entre as características representacionais do tipo verbal falada e 3D, destacadas acima, levaram A06 a associar a palavra *meia* proferida por A05 – utilizada para indicar a *metade* de uma hora – com o número *seis*. Ao observar um relógio analógico pendurado à frente da sala, na parede, contendo número arábicos, por meio de um viés de confirmação A06 relacionou *trinta minutos* com *metade*, e então, *metade* com o número *seis* do relógio, devido ao alinhamento que o ponteiro maior faz ao marcar *trinta minutos* com relação ao número *seis*. Assim, a relação entre *meia* como sendo o valor *seis* (ambiguidade por homonímia), induz A06 a raciocinar que ao converter 12:30h em horas, ou seja, “meio-dia e meia” em horas, o *meia* representa o número *seis*, pois ocupam o mesmo lugar no relógio de parede considerado. Assim, A06 concluiu que no local do *trinta* deveria inserir o *seis* – assim como trocar “:” por “,” de modo a obter um valor adequado para a conversão solicitada. Quanto a atitude de A06 no momento do equívoco, sua

participação ativa espontânea demonstrou uma atuação proativa, pois investiu esforços na resolução do problema em aberto. No entanto, uma situação de imperícia conceitual indicou a necessidade de melhorar sua habilidade para conversão de valores, devido às considerações impróprias relativas às relações de transformação entre os sistemas numéricos de base decimal e sexagesimal.

Situação didática 6

Quadro 11 – Detalhamento do contexto curricular acerca da situação didática 6.

Contexto Curricular	Ano escolar	1º ano do novo ensino médio
	Tema	máquinas térmicas
	Objeto de estudo	pássaro sedento ou passarinho que bebe água
	Conceitos	temperatura, evaporação, energia, calor, trabalho, fonte quente e fonte fria

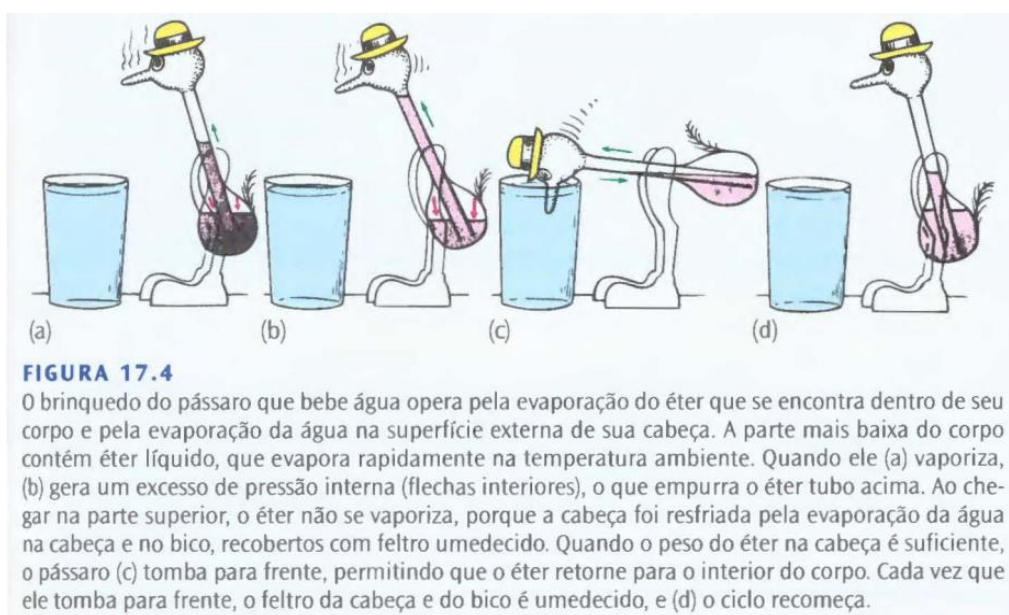
Fonte: o próprio autor.

Contexto de aplicação

Em aulas anteriores os conceitos de temperatura, energia, calor e trabalho foram abordados pelo professor. A ideia de temperatura como agitação média das partículas de um corpo e de calor como sendo um método de transferência de energia por diferença de temperatura entre dois corpos fundamentaram discussões de situações relacionadas com a realização de trabalho por variação de energia.

Na sequência, os conceitos de fonte quente e fonte fria foram contextualizados e introduzidos pelo docente por meio do recurso imagético apresentado na figura 6, referente ao brinquedo *pássaro sedento*, também chamado de *pássaro que bebe água*. Os estudantes foram informados que tal aparato não necessita de pilhas, baterias ou de qualquer fonte de energia elétrica para o seu funcionamento. Depois de distribuir impressões coloridas do material (figura 6) para os estudantes, que estavam organizados em grupos de 5 pessoas, os principais aspectos da imagem foram destacados e explicados pelo docente, assim como foi realizada a leitura do texto escrito, com especial atenção ao fenômeno representado – o funcionamento de uma máquina térmica. Na figura 6, as representações imagética e verbal escrita são apresentadas.

Figura 6 – Representação do ciclo operacional do mecanismo denominado *passarinho que bebe água* ou *pássaro sedento*.



Fonte: Hewitt (2011, p.305).

Especificações Representacionais

Ao se abordar o tema *máquinas térmicas* por meio do recurso mostrado na figura 6, ocorreu a integração de representações do tipo imagética (o brinquedo pássaro sedento em quatro situações específicas, cada qual ao lado de um copo cheio de um líquido azul claro; setas coloridas; traços ondulados indicativos de movimento e evaporação; plano de apoio horizontal), verbal escrita (explicação relativa ao ciclo de funcionamento do pássaro que bebe, dividida em uma introdução e quatro itens [a, b, c e d]), verbal falada (explicações do docente durante a apresentação do material à turma; explicações dos discentes participantes de diferentes grupos), numérica (numeração da imagem) e gesticulação (do docente ao longo das explicações e dos estudantes A07, A08, A09, A10, A11 e A12 conforme produziram seus relatos explicativos).

No contexto representacional delineado, algumas das unidades de significado das representações imagética, gestual e verbal escrita, uma vez combinadas, contribuíram para a manifestação dos equívocos investigados a seguir.

Descrição da situação de equívoco

Os grupos receberam as impressões coloridas da representação utilizada para contextualizar o tópico *máquinas térmicas* (figura 6). Após um tempo

de 10 minutos – destinado para que os estudantes conversassem sobre o conteúdo da impressão – o docente visitou grupo por grupo para ouvir as principais constatações acerca do material. Parte das manifestações produzidas pelos estudantes são apresentadas a seguir.

Manifestações de A07, A08, A09, A10, A11 e A12 – indicadores dos equívocos

Professor – O que o grupo achou do *pássaro sedento*? Quais as principais ideias que vocês conversaram nos últimos 10 minutos?

A07-F1 – [...] é legal. Bem bacaninha. Pelo que eu percebi, esse treco [pássaro sedento] vai se movimentar para sempre [A07-G1], se ninguém mexer nele. Pelo jeito não para. [...] essa explicação de ciclo me pareceu meio complicada, mas sinto que deu pra mim entender. [...] quando o professor explicar melhor vou ter certeza se eu entendi ou não.

A07-G1 – com o dedo indicador da mão direita faz movimentos cíclicos (3 vezes) sobre a sequência de imagens, da esquerda para a direita, completando as voltas passando o dedo por baixo das imagens, e reiniciando o movimento da direita para a esquerda.

A atitude de A07 durante o equívoco indicou uma combinação entre proatividade e imperícia conceitual.

A08-F1 – Logo vai parar de balançar, mas não é pelo atrito. Não fala de atrito na explicação. Ou, hummm, deve ter algum tipo de truque ou manha pra esse passarinho se mover do jeito que está escrito. [...] sem pilha ou bateria [A08-G1]. Se for o caso, só o professor que sabe [A08-G2]. Fala aí!? [A08 questiona o professor]. Deve ser algo escondido ou alguma outra coisa, ou peça interna, mas não faço ideia do que é [A08-G3].

A08-G1 – feição (configuração do rosto) indicadora de estranhamento.

A08-G2 – feição (configuração do rosto) indicadora de sorriso, na condição de quem acha que está sendo enganado.

A08-G3 – feição (configuração do rosto) indicadora de indagação.

A atitude de A08 no momento do equívoco demonstrou uma combinação entre proatividade, imprudência e imperícia conceitual.

A09-F1 – [...] se o passarinho é uma máquina térmica, a água azul é a fonte fria e o líquido rosa é a fonte quente. Acertei né? [...] meio que as cores facilitaram saber. [...] a fonte quente é [A09-G1] esse liquidinho rosa dentro do passarinho e a fonte fria é [A09-G2] essa água azul dentro do copo. Já

aprendemos em artes [disciplina escolar] sobre cores quentes e cores frias antes.

A09-G1 – aponta com o dedo indicador da mão direita para a representação do éter no interior do tubo no pássaro sedento, no item *a* da figura 6.

A09-G2 – aponta com o dedo indicador da mão direita para a representação de um copo de água, no item *a* da figura 6.

A atitude de A09 ao equivococar-se pontuou uma composição entre proatividade e imperícia conceitual.

A10-F1 – Aqui [A10-G1], esses risquinhos [traços ondulados] é a água evaporando. Vai ver é porque o bico deve estar meio quente. [...] bom, o éter pode pegar fogo. O professor de química que disse. Daí, acho que ele [o éter] esquenta o tubo e a cabeça do passarinho. [...] é isso, a água evapora aqui [A10-G1] por causa disso. [...] eu entendi, deve ser tipo o combustível do negócio [pássaro sedento]. [...] eee olha, e é mesmo, [A10-G2] aqui está mais baixo [nível do éter] que [A10-G3] aqui. [...] só pode ser isso, já que as posições [de pássaro sedento] são as mesmas.

A10-G1 – com o dedo indicador da mão direita aponta para a região do bico, no item *a* figura 6.

A10-G2 – com o dedo indicador da mão direita aponta para o meio do tubo, no item *a* figura 6.

A10-G3 – com o dedo indicador da mão direita aponta para o meio do tubo, no item *d* figura 6.

A atitude de A10 durante o equívoco indicou uma combinação entre proatividade e imperícia conceitual.

A11-F1 – [...] esse desenho [A11-G1] não tem flechinhas, e não parece que está “pra lá ou pra cá”, diferente dos outros. Me parece que aqui [A11-G1] o passarinho trava. [...] mas não entendi, parece que a explicação [texto escrito] fala outra coisa. Ele [pássaro sedento] balança várias vezes? Por que aqui nessa parte [A11-G1] para mim ele fica parado!

A11-G1 – aponta com o dedo indicador da mão direita para o item *d*.

A atitude de A11 no momento do equívoco revelou uma combinação entre proatividade e imperícia conceitual.

A12-F1 – [A12-G1] Estes quatro pássaros de brinquedo estão competindo para ver qual bebe [absorve] mais água? [risadas da estudante]. [...] Ai que ruim de entender, professor. E porque quatro pássaros em cima da mesa fazendo coisas diferentes? [...] O que isso tem a ver? Difícil de entender

mesmo [faz careta]. [...] ver um brinquedo desse de verdade seria mais fácil e legal, eu acho, mas não garanto que vou entender alguma coisa [risadas da estudante].

A12-G1 – aponta com o dedo indicador da mão direita para os itens *a*, *b*, *c* e *d*, nessa ordem, da esquerda para a direita.

A atitude de A12 ao equivocar-se sinalizou uma composição entre proatividade, imperícia conceitual e negligência.

Equívoco induzido 07 (por A07)

O aparato *pássaro sedento* funciona ciclicamente sem parar, ou seja, seu movimento prosseguirá indefinidamente caso não haja interferência humana.

Equívoco induzido 08 (por A08)

O movimento oscilatório contínuo do *pássaro sedento* sem a utilização explícita de pilhas e baterias ocorre devido a algum processo oculto, sendo provavelmente um truque utilizado pelo professor para chamar à atenção dos estudantes.

Equívoco induzido 09 (por A09)

O *pássaro sedento* é uma máquina térmica. Desse modo, possui uma fonte quente e uma fonte fria. As cores utilizadas para representar tais aspectos do mecanismo, em conformidade com o círculo cromático, são classificadas em *cores quentes* (o éter no tubo interno) e *cores frias* (a água no copo).

Equívoco induzido 10 (por A10)

No *pássaro sedento* a água absorvida pelo feltro que reveste o bico e parte da cabeça evapora, pois tal região encontra-se aquecida devido ao fato do éter no interior do tubo ser inflamável.

Equívoco induzido 11 (por A10)

Um aquecimento no interior do *pássaro sedento* é produzido devido a presença de éter no interior do tubo de vidro. Tal substância inflamável funciona como o combustível responsável pelo movimento desse brinquedo. Isso pode ser

verificado ao se observar os momentos *a* e *d*. O nível de éter em *d* é ligeiramente mais baixo do que o nível de éter em *a*.

Equívoco induzido 12 (por A11)

No quarto momento do *pássaro sedento* – item *d* – após se inclinar para frente e tocar a água, volta para sua posição inicial e se estabiliza, ou seja, sua movimentação é interrompida.

Equívoco induzido 13 (por A12)

Existem quatro *pássaros sedentos*, cada qual em uma posição diferente. Todos possuem um copo com água próximo de si. Trata-se de uma competição para ver qual pássaro absorve mais água (pássaro que bebe água).

Contexto disciplinar

O funcionamento do pássaro sedento é explicado com base na teoria termodinâmica. A pressão de vapor do éter no interior do corpo do pássaro sedento permanece em equilíbrio térmico com o ambiente. Quando o feltro que reveste a cabeça e o bico do pássaro sedento é umidificado, inicia-se o processo de evaporação da água absorvida. A água – ao evaporar – retira energia térmica do gás éter no interior da ampola de vidro que representa a cabeça do pássaro, resfriando-o. Isso faz com que a pressão do vapor de éter diminua nessa região, de modo que o éter líquido suba pelo tubo, pois na parte de baixo este líquido permanece em equilíbrio térmico com o ambiente, em uma temperatura maior do que a parte superior, o que provoca uma diferença de pressão. Tal mecanismo faz com que o centro de massa fique instável levando o pássaro a se inclinar para frente. Durante a subida do líquido, e respectiva inclinação do aparelho, ao atingir uma posição limite bem definida, as pressões dos vapores se igualam em razão de uma rápida conexão estabelecida entre o bulbo da base e o bulbo da cabeça. Desse modo, as diferentes pressões entram em equilíbrio, e assim, o líquido retorna para a base. Isso faz com que o centro de massa seja alterado novamente e o aparato volte à posição original, na vertical. A fonte quente é dada pelo ambiente que fornece energia térmica para a base do pássaro sedento (evaporação do éter presente no bulbo inferior do aparato), enquanto a fonte fria é a região interna da cabeça do pássaro (vapor de éter resfriado pelo processo de evaporação da água presente no tecido umedecido). As

condições básicas de funcionamento do aparato são: haver água suficiente no copo para que o feltro seja umidificado toda vez que o pássaro se inclina para frente; a temperatura ambiente deve ser regulada de modo que a taxa de evaporação do éter seja suficiente para tornar o efeito (movimento do pássaro sedento) perceptível e a vedação do éter deve permanecer intacta.

Identificação e descrição dos *affordances* negativos (para o equívoco induzido 07)

As características representacionais que levaram A07 a uma constatação desviante foram:

- o sentido de leitura definido pelas letras *a, b, c, d* (da esquerda para a direita);
- o trecho *d* “o ciclo recomeça”;
- a concatenação de imagens indica mudanças de posição no pássaro sedento, por meio de uma sequência de ações bem definida.

Justificação (do equívoco induzido 07)

As relações entre as características representacionais das representações verbal escrita e imagética, acima mencionadas, induziram A07 por meio do estabelecimento de uma trajetória de leitura induzida, de uma sequência de ações indicada pelas imagens e da ideia de ciclo fechado, a formular a concepção de que o movimento do pássaro sedento ocorrerá para sempre (raciocínio formal indutivo), com base na explicação do movimento cíclico por meio da gesticulação (raciocínio informal de apoio à produção de relato explicativo). Assim, A07 concluiu que o movimento desenvolvido será do tipo cíclico perpétuo, enquanto o mecanismo existir sem a intervenção de pessoas.

A atitude de A07 demonstrou proatividade, pois houve interesse pelo desenvolvimento da atividade, direcionamento da atenção, sensação de entendimento e predisposição para comparar suas concepções com as ideias do professor. Contudo, somada à falta de domínio acerca do nome do mecanismo considerado (*pássaro sedento*) e da aparente incompreensão acerca da explicação verbal escrita que trata do processo pelo qual a ideia de ciclo é introduzida, A07 apresentou uma imperícia conceitual relativa às condições essenciais para o funcionamento do mecanismo.

Identificação e descrição dos *affordances* negativos (para o equívoco induzido 08)

As características representacionais que induziram A08 a uma interpretação divergente foram:

- os poucos detalhes presentes nas imagens;
- ideia de movimentação especificada pela sequência de imagens, em diferentes posições;
- o questionamento realizado pelo professor.

Justificação (do equívoco induzido 08)

As relações entre as características representacionais das representações imagética e verbal falada, especificadas acima, levaram A08 – inicialmente – a compreender que o mecanismo não funciona perpetuamente, ao descartar a possibilidade de ser devido a presença de atrito (raciocínio formal por abdução, pois se no enunciado não fala de atrito, logo a explicação não deve envolver atrito). A ideia de oposição comunicada pelo termo *ou* (raciocínio informal por comparação) marca a busca por uma explicação mais sensata, que contraria o primeiro entendimento, com base na suposição de que a causa do movimento permanece oculta, possivelmente devido à falta proposital de detalhes (truque ou manha (raciocínio formal por abdução, pois se existe algo que não se pode ver, logo está escondido)). Ao destacar a ideia de não haver pilha nem bateria envolvida na movimentação do aparato, A08 manifesta uma feição de estranhamento (ao perceber uma condição considerada não sensata (raciocínio formal por abdução)). Ao supor a possibilidade de se tratar de algo que o professor conhece e não revela – o que leva A08 a presumir que a pergunta feita pelo docente foi capciosa, como se já soubesse que os estudantes não encontrariam a resposta correta – expressa dois palpites explicativos (geração de hipóteses por raciocínio formal por abdução)). Por fim, A08 assume que não entende o motivo que produz o movimento do pássaro.

A atitude de A08 se mostra proativa, pois permanece atento à leitura, busca construir um relato explicativo da situação, solicita uma explicação direta do professor, e tenta acertar a resposta, ainda que seu engajamento não seja duradouro (atitude imprudente, devido a pressa para se obter a resposta, parou de tentar encontrar a explicação adequada). E ainda, A08 manifestou uma imperícia conceitual, pois não conseguiu especificar o processo termodinâmico por meio do qual o mecanismo se movimenta.

Identificação e descrição dos *affordances* negativos (para o equívoco induzido 09)

As características representacionais que conduziram A09 a um desvio interpretativo foram:

- a cor azul-claro que representa a água no copo;
- a cor rosa que representa o éter no tubo interno do pássaro sedento.

Justificação (do equívoco induzido 09)

As relações entre as características representacionais da representação imagética, supracitadas, induziram A09 a considerar que se o pássaro sedento é uma máquina térmica, logo possui uma fonte fria e uma fonte quente (raciocínio formal por indução), e que as cores utilizadas para representar tais aspectos – a cor azul-claro representa a água no copo e a cor de rosa representa o éter no tubo interno do pássaro sedento – possuem relação direta (raciocínio formal por indução). E ainda, houve o uso indevido de um conteúdo relativo às cores quentes e cores frias (opostas no círculo cromático) aprendido na disciplina de artes, em uma situação estudada em física (transferência de aprendizagem gerado por um raciocínio formal por abdução, mas com base em uma associação incorreta via ambiguidade por homonímia). Os casos de homonímia envolvem os termos *quente* (fonte quente e cores quentes) e *fria* (fonte fria e cores frias). As gesticulações executadas para apontar os locais relativos às falas apoiaram o desenvolvimento da ideia comunicada (raciocínio informal de apoio ao relato explicativo produzido).

A atitude de A09 demonstrou proatividade, pois produziu uma explicação, apresentou confiança acerca do seu entendimento e utilizou um conhecimento aprendido na disciplina de artes na situação estudada em física, ainda que indevidamente. Todavia, ocorreu uma imperícia conceitual relativa a não compreensão acerca dos elementos que compõem a fonte quente e a fonte fria no pássaro sedento.

Identificação e descrição dos *affordances* negativos (para o equívoco induzido 10)

As características representacionais que impeliram A10 a um entendimento desviante foram:

- os traços ondulados próximos ao bico (item a, figura 6);

- o texto verbal escrito explicando que dentro do tubo tem éter;
- a representação do éter na cor rosa dentro do tubo.

Justificação (do equívoco induzido 10)

As relações entre as características representacionais das representações imagética e verbal escrita, conforme mencionado anteriormente, incitaram A10 a supor que os traços ondulados representam a água evaporando do bico aquecido do pássaro (raciocínio informal por abdução). Por meio da explicação verbal escrita e da imagem (figura 6) a existência do éter é destacada. Uma associação de fatos (há éter no tubo (representado em cor de rosa), o éter é inflamável (de acordo com o professor de química (raciocínio informal baseado na fala de especialista, ao se utilizar tal conceito na disciplina de física (transferência de aprendizagem)), material inflamável gera aquecimento, aquecimento produz evaporação da água) produziu uma noção de que se existe éter no tubo, logo a evaporação da água ocorre devido ao aquecimento produzido (raciocínio formal indutivo). As gesticulações de A10 apoiam a formulação de sua explicação (raciocínio informal de apoio à produção do relato explicativo).

A atitude de A10 mostrou proativismo, pois produziu uma explicação com confiança em relação às ideias que utilizou em seu relato. No entanto, foi identificada uma imperícia conceitual, visto que o gás na parte interna da cabeça do pássaro sedento resfria devido ao processo de evaporação da água que umedece o feltro, sendo distinto do que A10 constatou.

Identificação e descrição dos *affordances* negativos (para o equívoco induzido 11)

As características representacionais que incitaram A10 a uma noção enganosa – a partir do equívoco induzido 10 – foram:

- as posições do pássaro sedento nos itens *a* e *d* são as mesmas.
- a representação do nível do éter na cor rosa dentro do tubo do item *a* em relação ao nível mais baixo do éter na cor rosa dentro do tubo do item *d*.

Justificação (do equívoco induzido 11)

As relações entre as características representacionais da representação imagética, indicadas acima, inspiraram A10 a associar um conjunto de fatos (a causa do movimento do aparato é desconhecida, a fonte de energia não

está explícita na imagem, um aquecimento é produzido no interior do tubo (noção persistente produzida com base no equívoco induzido 10), existe um pequeno desnível de éter no tubo em relação às imagens *a* e *d*), a partir do qual constatou que o éter é o combustível que se gasta (raciocínio formal por abdução) conforme o pássaro sedento movimenta-se (raciocínio formal indutivo). A hipótese estabelecida acerca da causa do movimento parece ser plausível, sendo reforçada pelo posicionamento semelhante do pássaro nos itens *a* e *d*, o que indica que a cada ciclo completo o nível do éter vai baixar (raciocínio formal por indução). Os gestos de A10 corroboram a produção de sua explicação (raciocínio informal de apoio à produção do relato explicativo).

A atitude de A10 demonstrou ser proativa, pois buscou produzir um relato explicativo coerente da situação problematizada, reconsiderou (ainda que erroneamente) sua constatação, e ainda, observou atentamente o recurso ao ponto de perceber novas informações (desnível do éter). Porém, foi identificada uma imperícia conceitual, pois o éter no tubo não representa a fonte de energia (combustível) responsável pelo movimento do pássaro sedento. O nível do éter em um pássaro sedento real é um fator fixo, sendo o desnível representado no item *a* em relação ao item *d* um detalhe indevido (erro de representação) (figura 6), o que por sua vez reforçou o equívoco induzido 11.

Identificação e descrição dos *affordances* negativos (para o equívoco induzido 12)

As características representacionais que conduziram A11 a uma constatação divergente foram:

- a condição de início do movimento comunicada pelo pássaro sedento no item *a*;
- a condição de movimento comunicada pelo pássaro sedento nos itens *b* e *c*.
- a condição de repouso comunicada pelo pássaro sedento no item *d*;

Justificação (do equívoco induzido 12)

As relações entre as características representacionais da representação imagética, mencionadas acima, compeliram A11 a considerar o item *d* com base nos itens *a*, *b* e *c* (raciocínio informal por comparação), ou seja, o aspecto

estático do item *d* foi identificado ao ser comparado com os aspectos de movimento dos itens *c* e *d*, o que por sua vez comunicou para A11 que após o aparato inclinar e voltar para sua posição vertical (item *d*) ocorre o fim do movimento (raciocínio formal por indução). Tal situação foi mencionada por A11 de diferentes formas (raciocínio informal de reforço argumentativo), mesmo ao contrariar a ideia cíclica apresentada no texto escrito explicativo (raciocínio informal por comparação e escolha de perspectiva).

A atitude de A11 foi proativa ao produzir uma explicação para a situação discutida, enquanto buscou conciliar seu entendimento contraditório acerca do texto explicativo. Porém, manifestou uma imperícia conceitual referente às condições básicas de funcionamento do aparato. Caso tais condições sejam mantidas o movimento do pássaro sedento não cessará após a primeira oscilação.

Identificação e descrição dos *affordances* negativos (para o equívoco induzido 13)

As características representacionais que fomentaram A12 a uma concepção desviante foram:

- o trecho escrito “pássaro que bebe água”;
- a disposição de quatro pássaros sedentos semelhantes (brinquedos), lado a lado, cada qual próximo de um copo de água;
- o pássaro sedento representado no item *c* toca a água com o bico ao inclinar-se;
- as diferentes inclinações (posições) dos pássaros sedentos;
- planos de apoio dos pássaros alinhados horizontalmente.

Justificação (do equívoco induzido 13)

As relações entre as características representacionais das representações imagética e verbal escrita, supracitadas, conduziram A12 a supor que os quatro pássaros sedentos – chamados também de *pássaro que bebe água* – são brinquedos feitos para captar a água do copo (beber), conforme demonstrado pelo pássaro do item *c* (raciocínio informal por comparação), todos funcionando lado a lado ao mesmo tempo, em diferentes posições (raciocínio formal indutivo). Existem poucas possibilidades interpretativas acerca dos movimentos que podem acontecer na cena retratada (restrição produtiva), enquanto a lateralidade explorada nas etapas se mostra condizente com a ideia – de A12 – de um único plano de apoio

horizontal para os brinquedos (raciocínio formal por abdução). E ainda, devido a uma falta de atenção relativa às informações do texto escrito, o aspecto complementar do texto foi desconsiderado por A12 (raciocínio informal por restrição de foco representacional). Os gestos de A12 apoiam sua elaboração de ideias (raciocínio informal de apoio à produção do relato explicativo).

A atitude de A12 se mostrou inicialmente proativa, ao manifestar uma tentativa de resolução para a situação abordada. No entanto, apresentou uma imperícia conceitual ao não constatar que as imagens representam os movimentos de um mesmo pássaro sedento ao longo do tempo. E ainda, houve negligência devido ao desleixo apresentado, pouco engajamento, falta de seriedade e de interesse duradouro, além de uma baixa crença em sua capacidade de aprendizagem. Ao propor uma sugestão construtiva (ver um pássaro sedento real), não demonstrou que se dedicaria para entender o processo, o que aparentemente serviu para finalizar sua participação, e ter a chance de se afastar da tentativa de elucidar a situação-problema.

Considerações acerca da situação didática 6

A representação do fenômeno abordado – denominado *pássaro sedento*, na condição de máquina térmica – por meio da combinação dos modos representacionais imagético e verbal escrito, resultou em uma diversidade de lacunas, as quais se tornaram obstáculos educacionais para o processo de ensino, avaliação e aprendizagem de física, relativo ao tema *máquinas térmicas*. Ou seja, a representação do brinquedo representado na figura 6 envolveu um excesso de simplificações ao retratar um mecanismo de alta complexidade, haja vista os distintos pontos não correspondentes entre o aparato real e a sua representação (figura 6). O conjunto de *affordances* negativos identificado, conforme constatado nos termos da análise desenvolvida, poderia ser evitado mediante a associação planejada de outras modalidades representacionais (e.g., 3D, vídeo, infográfico), de estratégias de comunicação (a apresentação do movimento real do aparato, seja por vídeo ou ao vivo) e de mudanças no *layout* representacional do modo imagético empregado, para uma melhor especificação do caráter cíclico desenvolvido pelo aparato, e principalmente, das fontes quente e fria responsáveis pelo fornecimento de energia.

Situação didática 7

Quadro 12 – Detalhamento do contexto curricular acerca da situação didática 7.

Contexto Curricular	Ano escolar	3º ano do novo ensino médio – 1º trimestre
	Tema	estrutura atômica da matéria
	Objeto de estudo	os impactos gerados por uma detonação nuclear
	Conceito	elementos radioativos e suas aplicações

Fonte: o próprio autor.

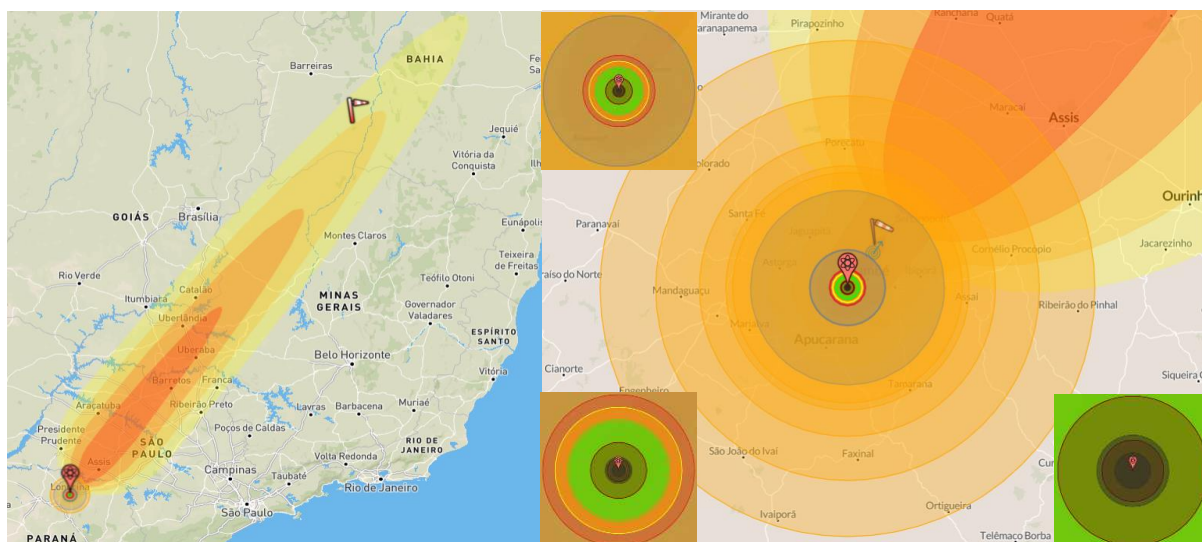
Contexto de aplicação

Os assuntos abordados anteriormente envolvem o pensamento grego atomista para explicar a estrutura da matéria e os principais modelos atômicos desenvolvidos ao longo da história (*modelo da bolha de bilhar*, por John Dalton; *modelo do pudim de passas* (Hon; Goldstein, 2013), por John Joseph Thomson; *modelo planetário*, por Ernest Rutherford; *modelo planetário melhorado*, por Ernest Rutherford e Niels Bohr (Marchesi; Custódio, 2023)).

Em uma aula foram discutidas algumas das aplicações dos elementos radioativos com especial atenção às principais vantagens e desvantagens. Após abordagem acerca da importância das usinas de fissão nuclear na produção de energia em vários países, inclusive no Brasil, dos problemas relacionados ao transporte, armazenagem e acúmulo dos resíduos radioativos produzidos (lixo nuclear), dos aparatos tecnológicos empregados na medicina nuclear e da tecnologia de fusão nuclear ainda em desenvolvimento, foi proposto em sala de aula a exploração do simulador NUKEMAP (via celular e computador) para avaliação dos impactos gerados por detonações nucleares em diferentes áreas urbanas.

As discussões relativas ao poder destrutivo de bombas nucleares geraram debates entre os estudantes, e por meio da mediação docente, a não neutralidade da ciência foi incluída nas discussões, principalmente devido às decisões políticas que orientam o desenvolvimento, o compartilhamento e a utilização de toda ciência e tecnologia produzida pelas nações. Introdutoriamente, uma situação foi demonstrada à turma pelo professor, ao projetar os impactos de uma bomba suja (nuclear) de potência 50Mt, detonada no centro da cidade em que os estudantes moram, conforme mostrado pela figura 7, o que gerou curiosidade, preocupação, interesse e engajamento por parte dos aprendizes.

Figura 7 – Zooms de *prints* referentes à simulação de uma detonação nuclear³.



Fonte: Plataforma NUKEMAP by Alex Wellerstein.

Especificações Representacionais

Ao explorar a situação proposta, detalhada na figura 7, houve a integração de representações do tipo imagética (modelos atômicos no quadro; simulação do formato das áreas afetadas por uma detonação em área urbana; marcador do local; biruta como marcador da direção do vento), cartográfica cilíndrica (mapa do Paraná e regiões próximas, oceanos e rios; nomes de cidades e estados brasileiros), verbal escrita (explicações no quadro e nos *slides*) e verbal falada (explicações do docente; diálogos dos estudantes).

No contexto representacional descrito, algumas das unidades de significado das representações imagética, cartográfica cilíndrica, verbal falada e verbal escrita, uma vez combinadas, contribuíram para a manifestação dos equívocos investigados, tratados a seguir.

Descrição da situação de equívoco

Após o docente definir às informações na plataforma NUKEMAP, em voz alta para os estudantes acompanharem o processo de escolha dos aspectos adotados em uma tela à frente da aula de aula, o comando para gerar o cenário da detonação foi executado. No momento em que o *zoom* mais afastado da figura 7 (quadrante à esquerda da figura) foi ajustado na tela, antes das devidas explicações planejadas pelo docente, os estudantes A13 e A14 se manifestaram em relação ao

³Os dados pertinentes à situação considerada podem ser consultados em <https://n9.ci/mkhq0l>.

observado, conforme a seguir.

Manifestações de A13 e A14 – indicadores do equívoco

A13-F1 – Mas espera...a bomba cai igual um cometa? Enquanto ela cai dá pra ver uma cauda que chega lá na Bahia, pelo que eu vejo... que bomba forte. [...] e a cauda parece ser toda quente, só que mais quente na parte alaranjada de dentro, do que na parte amarelada de fora.

Professor – Como você sabe que é quente, e onde é mais quente?

A13-F1 – “Pelas cores. [...] naquela roda de cores [círculo cromático] tem todas elas, daí é fácil saber”.

A14-F1 – Acho que não é isso, não. [...] o que você está chamando de cauda é o estrago que a bomba regaça [destrói] pelo chão, quando a explosão vai se arrastando meio que de rasante [rente ao solo]. [...] o avião tem que estar bem rápido e baixo para soltar uma bomba desse jeito, né professor? [...] chegar lá na Bahia mostra como a danada [bomba nuclear considerada na simulação] é potente. [...] no jogo que eu tenho lá em casa a bomba de *NAPALM*⁴ não vai tão longe assim. [...] eu acho que é por ser bem menos potente que uma bomba nuclear. [...] agora, do negócio de cor que você [A13] falou eu concordo. Dentro do rastro deve ser bem mais quente do que fora.

Professor – Como assim bomba de *NAPALM*? E o que você quis dizer com “a explosão vai se arrastando meio que de rasante”?

A14-F2 – [...] é igual em um jogo que eu tenho lá em casa, da segunda guerra mundial. No jogo, do jeito que a bomba bate no chão, ela explode e o fogo se espalha rasteiro pra frente, pra longe, meio que em linha reta deixando um rastro, igual o que o professor mostrou agora (figura 7), e não se apaga. Fica queimando. [...] tem a ver com gasolina em gel, até onde eu estava lendo em um fórum que o pessoal entendido conversa coisas desse jogo.

As atitudes de A13 e A14 – ao equivocarem-se – sinalizaram uma composição entre proatividade e imperícia conceitual.

Equívoco induzido 14 (por A13)

Enquanto uma bomba nuclear está em queda se forma uma cauda

⁴Mistura química composta por naftenato de alumínio e palmitato de alumínio mono e di-hidroxilados, associados à gasolina. Foi empregada na segunda Guerra Mundial, no entanto, seu uso foi definido como crime de guerra posteriormente.

no céu, marcando a trajetória por onde passa, similar à cauda de um cometa.

Equívoco induzido 15 (por A13)

A parte interna da cauda na cor de laranja é mais quente do que a parte de fora da cauda na cor amarela. Na imagem, a intensidade da temperatura é comunicada pelo gradiente de cores utilizado.

Equívoco induzido 16 (por A13)

A cauda formada pela bomba nuclear durante sua queda chega até na Bahia, pois é um tipo de bomba muito forte.

Equívoco induzido 17 (por A14)

Quando a bomba nuclear atinge o solo, devido a velocidade e altitude do avião que fez o bombardeio a explosão se propaga rente ao solo, para longe, seguindo por um caminho bem definido, alinhado com a trajetória pela qual o avião avança em seu voo.

Equívoco induzido 18 (por A14)

A parte interna do rastro da explosão na cor de laranja é mais quente do que a parte de fora do rastro da explosão na cor amarela. Isso é comunicado pela variação na intensidade das cores empregadas na ilustração.

Equívoco induzido 19 (por A14)

O rastro destrutivo de uma bomba nuclear chega até na Bahia, pois esse tipo de bomba é muito potente.

Contexto disciplinar

A figura 7 mostra 5 *zooms* de uma mesma simulação de detonação nuclear, o que permite notar a qualidade das informações e a riqueza de detalhes fornecidos a respeito da situação especificada pelo docente. A depender do objetivo instrucional diferentes cenários podem ser simulados. As diferentes cores empregadas pela plataforma NUKEMAP permitem que o usuário distinga as áreas alongadas e os círculos concêntricos, os quais representam os principais aspectos resultantes de uma detonação nuclear de potência especificada, sendo exemplos, o

raio da borda da cratera formada pela explosão, o raio da bola de fogo produzida, o raio de dano de *explosão pesada*, o raio de radiação térmica (especificação da porcentagem da geração de queimaduras de 1º, 2º e 3º graus na população, de acordo com a distância relativa ao ponto de impacto (*ground zero*)), o número estimado de vítimas fatais e feridos, a altura do cogumelo de fumaça, o alcance e a intensidade da precipitação radioativa, dentre outros. As zonas de precipitação radioativa podem ser desativadas no simulador caso a dispersão dos contaminantes radioativos pelo vento seja desconsiderada. No entanto, como tal dispersão faz parte dos efeitos produzidos por detonações nucleares, desativá-la implica na perda de um aspecto relevante do problema. Na plataforma existem advertências para que as informações geradas sejam empregadas no âmbito educacional, não devendo ser aplicadas em situações de emergência, pois eventos reais são ocorrências que envolvem um amplo espectro de variáveis ambientais não consideradas na elaboração do simulador NUKEMAP.

Identificação e descrição dos *affordances* negativos (para o equívoco induzido 14)

As características representacionais que estimularam A13 a uma interpretação equivocada foram:

- os círculos concêntricos em diferentes cores;
- as formas alongadas concêntricas em diferentes cores.
- a relação de proximidade entre os círculos e as formas alongadas, ambos concêntricos.
- o ângulo de inclinação das formas alongadas concêntricas, em relação ao mapa.

Justificação (do equívoco induzido 14)

As relações entre as características representacionais das representações imagética e cartográfica cilíndrica, especificadas anteriormente, instigaram A13 por meio da associação entre os círculos concêntricos e as formas alongadas concêntricas (ambos em diferentes combinações de cores), o que resultou no formato de cometa identificado por A13. Por sua vez, a angulação das formas alongadas foi responsável pela ideia de “queda”. Com base em seus conhecimentos (enciclopédia), A13 interpretou a representação como sendo similar a um cometa. Tanto a bomba atômica como um cometa desenvolvem um movimento

de queda (raciocínio formal por indução), e como a bomba atômica é considerada “forte” por A13, o surgimento de uma cauda parece ser algo coerente do ponto de vista do estudante (raciocínio formal por indução).

A atitude de A13 se mostrou proativa, pois apresentou seu relato explicativo à turma espontaneamente. No entanto, a presença de uma imperícia conceitual foi notada. Ao apresentar suas noções antes do professor especificar os significados das formas geométricas, A13 comprovou desconhecer os efeitos dos ventos no processo de contaminação radioativa após a detonação de uma bomba nuclear (precipitação radioativa).

Identificação e descrição dos *affordances* negativos (para o equívoco induzido 15)

As características representacionais que conduziram A13 a um desvio interpretativo foram:

- as formas alongadas concêntricas em diferentes tamanhos, visualmente distinguíveis;
- as formas alongadas concêntricas em quatro cores diferentes;
- as formas alongadas concêntricas diferenciadas por um gradiente de cores, da mais intensa no interior para a menos intensa na parte exterior.

Justificação (do equívoco induzido 15)

As relações entre as características representacionais da representação imagética, acima mencionadas, incitaram A13 – com base no equívoco induzido 14 – à suposição de que a cauda (formas alongadas concêntricas em diferentes cores e tamanhos) produzida por uma bomba nuclear é quente, devido a utilização de *cores quentes* do círculo cromático (enciclopédia de A13; raciocínio formal por abdução), e ainda, tal temperatura varia devido a diferença da intensidade das cores utilizadas, ou seja, mais intensa na parte interna (em cor de laranja), e menos intensa na parte externa (na cor amarela). A atitude de A13 permanece proativa, ao incrementar seu relato com uma explicação baseada na forte impressão visual que a diferença de cores nas formas alongadas concêntricas lhe causou. No entanto, como o equívoco induzido 15 surge a partir do equívoco induzido 14, a ideia de cauda permanece como premissa, de modo que uma outra imperícia conceitual seja manifestada, pois o conceito de intensidade da precipitação radioativa não foi dominado por A13.

Identificação e descrição dos *affordances* negativos (para o equívoco induzido 16)

As características representacionais que impeliram A13 a uma constatação desviante foram:

- as formas alongadas concêntricas;
- o trecho do mapa do Brasil;
- o termo “BAHIA” do mapa posicionado próximo ao final da forma alongada na cor amarela.

Justificação (do equívoco induzido 16)

As relações entre as características representacionais das representações imagética e cartográfica cilíndrica, supracitadas, compeliram A13 – com base no equívoco induzido 14 – a considerar que devido a força da bomba nuclear simulada (enciclopédia de A13), a cauda formada (as formas alongadas concêntricas em diferentes cores e tamanhos) se estendeu até na Bahia (raciocínio informal por abdução), pois estabelece-se uma relação de proximidade entre o termo “Bahia” e a forma alongada na cor amarela sobre o mapa. A atitude de A13 mostrou proatividade em relação ao esforço para comunicar seus entendimentos, no entanto, ocorreu uma imperícia conceitual, pois os fatores que interferem no alcance da precipitação radioativa não foram compreendidos por A13.

Identificação e descrição dos *affordances* negativos (para o equívoco induzido 17)

As características representacionais que levaram A14 a um entendimento desviante foram:

- os círculos concêntricos em distintas cores;
- as formas alongadas concêntricas em distintas cores;
- a relação de proximidade entre as formas alongadas e os círculos, ambos concêntricos.

Justificação (do equívoco induzido 17)

As relações entre as características representacionais da representação imagética, especificadas acima, induziram A14 a supor que se os círculos concêntricos marcam o ponto de detonação da bomba nuclear liberada por um avião em alta velocidade e baixa altitude, as formas alongadas concêntricas nas proximidades referem-se ao efeito explosivo gerado (raciocínio formal por abdução)

de arraste horizontal, similar às bombas de NAPALM utilizadas na Guerra do Vietnã, retratada também em jogos de vídeo game (enciclopédia de A14). A atitude de A14 expressou proativismo pelo engajamento e esforço demonstrado ao tentar corrigir os entendimentos apresentados por A13. No entanto, identificou-se uma imperícia conceitual ao se considerar que A14 desconhece a ação dos ventos em situações envolvendo a detonação de bombas nucleares (precipitação radioativa).

Identificação e descrição dos *affordances* negativos (para o equívoco induzido 18)

As características representacionais que induziram A14 a uma noção enganosa foram:

- as formas alongadas concêntricas em diferentes tamanhos, visualmente distinguíveis;
- as formas alongadas concêntricas em quatro cores diferentes;
- as formas alongadas concêntricas diferenciadas por um gradiente de cores, da mais intensa no interior para a menos intensa na parte exterior.

Justificação (do equívoco induzido 18)

As relações entre as características representacionais da representação imagética, conforme mencionado anteriormente, conduziram A14 – com base no equívoco induzido 17 – a supor que o efeito explosivo gerado (formas alongadas concêntricas em diferentes cores e tamanhos) pela detonação de uma bomba nuclear tem altas temperaturas, o que pode ser notado devido a utilização de *cores quentes* do círculo cromático (enciclopédia de A14; raciocínio formal por abdução; raciocínio informal por comparação), e ainda, tais temperaturas mudam devido a diferença de intensidade das cores empregadas, menos intensa na parte externa (na cor amarela), e mais intensa na parte interna (em cor de laranja) (gradiente de cores). A atitude de A14 demonstra proatividade, pois reforça sua explicação concordando com o relato de A13 acerca do uso de cores quentes na representação. Porém, como o equívoco induzido 18 surge a partir do equívoco induzido 17, a ideia de explosão rasante de longo alcance se mostra consistente na perspectiva de A14, o que por sua vez permite notar uma imperícia conceitual, pois a concepção de intensidade da precipitação radioativa não foi devidamente entendida por A14.

Identificação e descrição dos *affordances* negativos (para o equívoco induzido 19)

As características representacionais que fomentaram A14 a uma concepção desviante foram:

- as formas alongadas concêntricas;
- o trecho do mapa do Brasil;
- o termo “BAHIA” do mapa posicionado próximo ao final da forma alongada na cor amarela.

Justificação (do equívoco induzido 19)

As relações entre as características representacionais das representações imagética e cartográfica cilíndrica, indicadas acima, inspiraram A14 a – com base no equívoco induzido 17 – a supor que devido a potência da bomba nuclear simulada (enciclopédia de A13), o rastro da explosão (as formas alongadas concêntricas em diferentes tamanhos e cores) se estendeu até na Bahia (raciocínio informal por abdução), pois o termo “Bahia” e a forma alongada amarela possuem uma relação de proximidade explícita (raciocínio informal por implicação). A atitude de A13 indicou proatividade em relação ao esforço para compartilhar suas ideias, porém, uma imperícia conceitual foi notada, pois os elementos que determinam o alcance da precipitação radioativa não foram entendidos por A14.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em consonância com uma linha de pesquisa já consolidada, o tratamento de eventos pertinentes ao ensino de física envolveu discussões pautadas nos eixos teóricos da multimodalidade, *affordance* e semiótica. Com base nessa perspectiva, avançamos em relação a análise de *affordances* negativos, o que resultou na elucidação de casos típicos relativos à produção de um tipo específico de equívoco em ambiente escolar. Os resultados envolvem as exemplificações e leituras articuladas nos encaminhamentos teóricos, a partir das quais elaborou-se um instrumento analítico semiótico, o qual foi empregado para se construir as discussões e explicações – relativas às situações didáticas de interesse – propostas ao longo do processo analítico desenvolvido.

Para além de aparatos experimentais, instrumentos de medição e filmes do gênero documentário – já investigados conforme exposto no capítulo 2 – o exame de outros modos representacionais permitiu identificar um conjunto diversificado de situações semelhantes capazes de induzir uma parcela de estudantes do ensino médio, a manifestar desvios interpretativos acerca dos conteúdos estudados. Inserida nessa problemática, a abordagem desenvolvida consiste no estudo das relações formadas por uma diversidade representacional geradora de equívocos, por meio da aplicação de um instrumento analítico semiótico centrado na multimodalidade.

Ao se examinar diferentes modos representacionais com base no mesmo instrumento de análise, houve o reconhecimento acerca da necessidade de que os estudantes – estimulados pelo docente – precisam participar ativamente (e.g., conversas, textos escritos, gesticulações, olhares, expressões faciais) durante as aulas e atividades propostas, pois assim conjuntos de informações foram produzidos, o que corrobora as implicações da multimodalidade na esfera educacional. As manifestações dos estudantes são relevantes ao educador que busca elucidar os obstáculos gerados por relações representacionais que se estabelecem no ambiente onde o processo de ensino, avaliação e aprendizagem se desenvolve.

Os fatos e evidências coletados, junto das características representacionais do ambiente e de aspectos do contexto instrucional e do estudante, permitiram identificar, descrever e justificar os *affordances* negativos

indutores dos equívocos investigados. Tais desvios de interpretação normalmente permanecem no âmbito da subjetividade, transparentes à percepção direta do docente. O emprego dos multimodos e múltiplas representações na educação científica mostrou potencial para evidenciar a produção de equívocos nos momentos em que ocorrem, e ainda, aliado com conceituações de *affordance* negativo e semiótica, contribuiu para a estimulação da participação ativa dos estudantes ao longo das instruções, o que de certa forma justifica o fato de uma atitude proativa surgir em todas as situações didáticas analisadas. Se tratam de situações de equívoco que, se não fossem expostas por diferentes manifestações dos estudantes permaneceriam ocultas.

De modo geral, constatou-se que os equívocos investigados podem ocorrer sozinhos ou combinados (individualmente e em grupo). A concatenação de raciocínios formais e informais permite melhor compreender a trajetória percepto-cognitiva que o estudante percorre ao desenvolver seus relatos explicativos equivocados (produção de significado), de acordo com suas atitudes e com base nas relações entre as características representacionais (*affordances* negativos) do ambiente instrucional enriquecido pela multimodalidade, sob um olhar teoricamente orientado pela semiótica.

Ao longo das vivências em sala de aula, cada docente pode produzir uma compilação de situações didáticas influenciadas por *affordances* negativos. Para a superação da problemática delineada, o ajuste das características representacionais dos objetos ou dos fenômenos, ou então, a antecipação descritiva e explicativa dos casos identificados aos estudantes são formas de minimizar a frequência dos desvios interpretativos. No entanto, outra possibilidade educacionalmente mais significativa consiste na problematização das situações didáticas configuradas por *affordances* negativos. Ao surgirem, torna-se produtivo debater com os integrantes da turma quais as considerações que sustentam cada raciocínio apresentado, quais os raciocínios que conduziram para determinada concepção equivocada, ou quais as características do ambiente influenciaram na geração do equívoco, e ainda, quais aspectos do contexto contribuíram para o entendimento divergente apresentado. A compreensão acerca do que faz uma ideia aparentemente coerente ser de fato um equívoco, pode ser um caminho para um entendimento duradouro, principalmente se tal conclusão for alcançada autonomamente pelo estudante, ainda que seja um alcance mediado

semioticamente pelo professor e restringido produtivamente pelos *affordances* da multimodalidade empregada instrucionalmente.

Uma antiga problemática pode ser melhor compreendida a partir da concepção de *affordance* negativo desenvolvida. É comum que um mesmo conjunto de materiais para fins didáticos propicie uma aprendizagem adequada de determinado conteúdo para um grupo de estudantes. Porém, os mesmos recursos podem induzir desvios interpretativos (por vezes dotadas de uma aparente coerência) nos integrantes de uma outra turma. Ou seja, os *affordances* relacionam-se simultaneamente com o sujeito e com o ambiente, sendo configurados de acordo com uma série de aspectos próprios dessa interação em particular. Justamente por isso, o entendimento resultante varia de estudante para estudante.

As discussões apresentadas são válidas para metodologias ativas em geral, e.g., *flipped classroom*, *peer instruction*, *problem based learning*, *team based learning*, *project based learning*, *makerspace*, *fab lab*, *hackerspace*, *gamification*, *storytelling*, para as epistemologias de cunho construtivista e construcionista, assim como para diferentes concepções de currículo, inclusive conforme o modelo vigente especificado pela BNCC, para formação do estudante com base em um conjunto de habilidades e competências (Brasil, 2018).

Novas abordagens podem ser desenvolvidas em investigações futuras com base na aplicação da estratégia multimodal para o ensino de física apresentada, em outros campos disciplinares, níveis de ensino ou modos representacionais não mencionados. Outra possível inovação para estudos futuros, trata-se da proposição de sequências de desafios representacionais voltadas à componente curricular de física, com especificações relativas às suas restrições e possibilidades, tipos de raciocínio e aspectos da produção de modelos. Para o analista ou educador interessado em otimizar o desempenho de seus estudantes, proceder com o levantamento de *affordances* negativos geradores de equívocos no cenário instrucional de física, permitirá que acessem tramas de relações entre múltiplas representações em multimodos de acordo com as concepções de distintos estudantes, o que auxiliará na elaboração de estratégias efetivas para se problematizar cada caso instrucional, de acordo com suas especificidades.

Os dados foram tratados caso a caso, com a finalidade de descrevê-los e justificá-los semioticamente, assim como expor as condições para a emergência de cada situação didática considerada, em relação aos *affordances*

negativos identificados. Ao proceder dessa forma estima-se que circunstâncias ainda inexploradas possam igualmente ser analisadas. Ou seja, devido a flexibilidade do instrumental analítico proposto, conceitos e teorias suplementares podem ser incluídos, de modo a torná-lo mais geral e robusto.

Por fim, ressalta-se que o presente estudo além de contribuir para o destaque e a resolução de uma problemática pouco discutida no âmbito escolar e no campo de investigação acadêmica, referente a produção de equívocos induzidos por *affordances* negativos, tem potencial para favorecer o progresso da educação científica nas escolas. Para tal, fornecemos aos docentes de disciplinas científicas e produtores de materiais com propensão didática (e.g., vídeos de divulgação científica, produtos educacionais, livros didáticos, simuladores, aplicativos), formas para se compreender e superar eventuais *affordances* negativos, que apesar de sutis e aparentemente banais, podem influenciar desde as decisões mais particulares do aprendiz até as suas atitudes mais relevantes em sociedade.

REFERÊNCIAS

- AINSWORTH, S. The functions of multiple representations. **Computers & education**, v.33, n.2-3, p.131-152, 1999.
- BARAVALLE, L. A função adaptativa da transmissão cultural. **Scientiae Studia**, São Paulo, v.10, n.2, p.269-295, 2012.
- BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. São Paulo: Edições 70, 2011.
- BARNES, S. What does electronic conferencing afford distance education?. **Distance Education**, Londres, v.21, n.2, p.236-247, 2000.
- BARSALOU, L. W. Grounded cognition. **Annu. Rev. Psychol.**, San Mateo, v.59, p.617-645, 2008.
- BARREIRO, Á. C. de M.; BAGNATO, V. S. Aulas demonstrativas nos cursos básicos de Física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v.9, n.3, p.238-244, 1992.
- BEZERRA, A. C. S.; SOUZA, F. N. de. *Mlearning, cloud education* e competências em TIC: novos rumos à prática docente. **Revista Tempos e Espaços em Educação**, São Cristóvão, p.63-76, 2014.
- BRASIL. **Base Nacional Comum Curricular. Ensino Médio**. Brasília: MEC, 2018.
- BROWN, J.; STILLMAN, G., HERBERT, S. Can the notion of affordances be of use in the design of a technology enriched mathematics curriculum. *In: Proceedings of the 27th Annual Conference of the Mathematics Education Research Group of Australasia*. Sydney: MERGA, 2004.
- CALVE, T.; MAUERBERG-DECASTRO, E. Contribuição da percepção háptica no controle postural de crianças. **Motriz. Journal of Physical Education. UNESP**, Rio Claro, p.199-204, 2005.
- CANDAU, J.; FERREIRA, M. L. M. Mémoire et patrimoine: des récits et des *affordances* du patrimoine. **Educar em Revista**, Curitiba, n.58, p.21-36, 2015.
- CASTAÑON, G. A. O que é construtivismo. **Cadernos de História e Filosofia da Ciência**, Campinas, v.1, n.2, p.209-242, 2015.
- CAMBRUSSI, M. F.; POLL, T. V. H. Ambiguidade lexical em tirinhas: polissemia e efeito de humor. **Revista (Con) Textos Linguísticos**, Vitória, v.9, n.13, p.123-140, 2015.
- CLEMENT, J. J. **Creative model construction in scientists and students**. Dordrecht: Springer, 2008.
- CLEMENT, J. J.; REA-RAMIREZ, M. A. **Model based learning and instruction in science**. Dordrecht: Springer, 2008.

COSSA, J. de I. N. Importância do erro no processo de Ensino e Aprendizagem em sala de aula: Lisima dra xihoxo ka Udondrisi ni udondri xilawini. **NJINGA e SEPÉ: Revista Internacional de Culturas, Línguas Africanas e Brasileiras**, São Francisco do Conde, v.1, n.2, p.16-36, 2021.

COX, R. Representation construction, externalised cognition and individual differences. **Learning and instruction**, Londres, v.9, n.4, p.343-363, 1999.

DAMÁSIO, A. R. **Descartes' Error**: Emotion, Reason and the Human Brain. New York: Grosset/Putnam, 1994.

D'AMORE, B.; PINILLA, M. I. F.; IORI, M. **Primeiros elementos de semiótica**: sua presença e sua importância no processo de ensino-aprendizagem da matemática. São Paulo: Livraria da Física, 2015.

DEFILIPO, É. C.; FRÔNIO, J. D. S.; TEIXEIRA, M. T. B.; LEITE, I. C. G.; BASTOS, R. R.; VIEIRA, M. de T.; RIBEIRO, L. C. Oportunidades do ambiente domiciliar para o desenvolvimento motor. **Revista de Saúde Pública**, São Paulo, v.46, p.633-641, 2012.

DE MENESES, R. D. B. A Complementaridade em N. Bohr: da mecânica quântica à filosofia. **Eikasia: revista de Filosofia**, Oviedo, n.17, p.75-126, 2008.

DESLANDES, S. F.; NETO, O. C.; GOMES, R.; MINAYO, M. C. de S. (Org.). **Pesquisa social: teoria, método e criatividade**. Petrópolis: Vozes, 2002.

DI BATTISTA, A.; GRAYLING, S.; HASSELAAR, E.; LEOPOLD, T.; LI, R.; RAYNER, M.; ZAHIDI, S. Future of jobs report 2023. *In: World Economic Forum*, Geneva, 2023.

DISESSA, A. A. Metarepresentation: Native competence and targets for instruction. **Cognition and instruction**, Londres, v.22, n.3, p.293-331, 2004.

DOHN, N. B.; LUND, K.; LINDHARDT, P. H.; DEGNEBOLIG, H. S. Affording opportunities to learn in Homework Online. *In: The 10th International Conference on Networked Learning*, Lancaster, 2016.

DOLIN, J. Representational forms in physics. *In: PSILLOS, D.; KARIOTOGLOU, P.; TSELFES, V.; HATZIKRANIOTIS, E.; FASSOULOPOULOS, G.; KALLERY, M. Science education research in the knowledge-based society*. Thessaloniki: Proceedings of the Third International Conference of the ESERA, 2001.

DUSCHL, R.; GRANDY, R. Reconsidering the character and role of inquiry in school science: Framing the debates. *In: DUSCHL, R. A.; GRANDY, R. E. Teaching scientific inquiry: Recommendations for research and implementation*. BRILL, 2008.

DUVAL, R. **Semiósis e pensamento humano**: registros semióticos e aprendizagens intelectuais. São Paulo: Livraria da Física, 2009.

- FAGUNDES, T. B. Os conceitos de professor pesquisador e professor reflexivo: perspectivas do trabalho docente. **Revista Brasileira de Educação**, Rio de Janeiro, v.21, p.281-298, 2016.
- FARACO, C. A.; GARCEZ, P. M.; ZILLES, A. M. S.; BAGNO, M.; SCHMITZ, J. R.; POSSENTI, J. L. F. S.; GREDES, P. C. **Estrangeirismos**: guerras em torno da língua. São Paulo: Parábola, 2001.
- FINARDI, K. R.; HILDEBLANDO JUNIOR, C. A.; GUIMARÃES, F. F. *Affordances* da formação de professores de línguas na era digital. **Revista Eletrônica de Educação**, v. 14, p.1-20, 2020.
- FIORIN, J. L. Duas concepções de enunciação. **Estudos Semióticos**, São Paulo, v.16, n.1, p.122-137, 2020.
- FLICK, U. **Introdução à pesquisa qualitativa**. Porto Alegre: Artmed, 2009.
- FORD, M. J.; FORMAN, E. A. Redefining disciplinary learning in classroom contexts. **Review of research in education**, Washington, v.30, n.1, p.1-32, 2006.
- GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. **Métodos de pesquisa**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.
- GIBSON, E. J. Exploratory behavior in the development of perceiving, acting, and the acquiring of knowledge. **Annual Reviews Psychology**, Palo Alto, v.39, p.1-41, 1988.
- GIBSON, J. J. **The ecological approach to visual perception**. Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates, 1986.
- GIBSON, J. J. **The senses considered as perceptual systems**. Boston: Houghton Mifflin Company, 1966.
- GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. São Paulo: Atlas, 2008.
- GILBERT, J. K., REINER, M.; NAKHLEH, M. **Models and modeling in science education**. Dordrecht: The Netherlands: Springer, 2008.
- GILBERT, J. K. Visualisation: A metacognitive skill. *In*: GILBERT, J. K. **Visualization in science education**. The Netherlands: Springer, 2005.
- GILBERT, S. W. Model Building and Definition of Science. **Journal of research in science teaching**, Hoboken, v.28, n.1, p.73-79, 1991.
- GOBERT, J. D.; PALLANT, A. Fostering students' epistemologies of models via authentic model-based tasks. **Journal of Science education and Technology**, Berlim, v.13, p.7-22, 2004.
- GONZÁLEZ-GRANDÓN, X. Un modelo sentimental para la arrogancia epistémica. **Scientiae Studia**, São Paulo, v.14, n.1, p.123-150, 2016.

GOODING, D. C. From phenomenology to field theory: Faraday's visual reasoning. **Perspectives on Science**, Berlim, v.14, n.1, p.40-65, 2006.

GREENO, J. G. A theory bite on contextualizing, framing, and positioning: A companion to Son and Goldstone. **Cognition and Instruction**, v.27, n.3, p.269-275, 2009.

GREGÓRIO, A. P. H. **Identificação e superação dos equívocos conceituais e procedimentais influenciados por *affordances* negativos no processo de ensino e aprendizagem de química**. 2021. Tese (doutorado em Ensino de Ciências e Educação Matemática) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2021.

GROSSLIGHT, L.; UNGER, C.; JAY, E.; SMITH, C. L. Understanding models and their use in science: Conceptions of middle and high school students and experts. **Journal of Research in Science teaching**, Hoboken, v.28, n.9, p.799-822, 1991.

GUIMARÃES, E. L.; CUNHA, A. B.; MIRA, D. M.; TUDELLA, E. Influence of short-term training on the distal adjustments of reaching in preterm infants. **Journal of Human Growth and Development**, São Paulo, v.25, n.3, p.263-270, 2015.

GÜNTHER, H. Mobilidade e *affordance* como cerne dos estudos pessoa-ambiente. **Estudos de Psicologia**, Natal, v.8, n.2, p.273-280, 2003.

HASKELL, R. E. **Transfer of learning**: Cognition, instruction and reasoning. Amsterdã: Elsevier, 2000.

HERNANDES, J. L. **Leitura semiológica de analogias pictóricas utilizadas no ensino de química**. 2023. Tese (doutorado em Ensino de Ciências e Educação Matemática) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2023.

HEWITT, P. G. **Física conceitual**. Bookman Editora, 2023.

HON, G.; GOLDSTEIN, B. R. JJ Thomson's plum-pudding atomic model: The making of a scientific myth. **Annalen der physik**, v.525, n.8-9, p.A129-A133, 2013.

JANUARIO, G. Agência, *affordance* e a relação professor-materiais curriculares em Educação Matemática. **Ensino em Re-Vista**, v.27, n.3, p.1055-1076, 2020.

JANUARIO, G.; LIMA, K.; MANRIQUE, A. L. A relação professor-materiais curriculares como temática de pesquisa em Educação Matemática. **Educação Matemática Pesquisa**, São Paulo, v.19, n.3, p.414-434, 2017.

JANUARIO, G.; LIMA, K. Materiais curriculares como ferramentas de aprendizagem do professor que ensina Matemática. **Revista Paranaense de Educação Matemática**, Campo Mourão, v.8, n.17, 2019.

JANUARIO, G.; MANRIQUE, A. L.; PIRES, C. M. C. Conceitos de *affordance* e de agência na relação professor-materiais curriculares em Educação Matemática. **Bolema**, Rio Claro, v.32, n.60, p.1-30, 2018.

KAUARK, F.; MANHÃES, F. C.; MEDEIROS, C. E. **Metodologia da pesquisa: guia prático**. Itabuna: Via Litterarum, 2010.

KLEIN, P. D.; KIRKPATRICK, Lori C. Multimodal literacies in science: Currency, coherence and focus. **Research in Science Education**, Berlim, v.40, p.87-92, 2010.

KLEIN, P. D. The challenges of scientific literacy: From the viewpoint of second-generation cognitive science. **International Journal of Science Education**, Londres, v.28, n.2-3, p.143-178, 2006.

KOPONEN, I. T. Models and modelling in physics education: A critical re-analysis of philosophical underpinnings and suggestions for revisions. **Science & Education**, Berlim, v.16, p.751-773, 2007.

KOZMA, R.; RUSSELL, J. Students becoming chemists: developing representational competence. **Visualization in science education**, v.1, p.121-146, 2005.

KOZMA, R. The material features of multiple representations and their cognitive and social affordances for science understanding. **Learning and instruction**, v.13, n.2, p.205-226, 2003.

LABURÚ, C. E.; SILVA, O. H. M. da; CAMARGO FILHO, P. S. de. **Semiótica aplicada à educação científica**. São Paulo: Livraria da Física, 2021.

LABURÚ, C. E.; SILVA, O. H. M.; CAMARGO FILHO, P. S. de. ZÔMPERO, A. F. *Affordances* em documentários como indutores de equívocos de interpretação de estudantes. **Caderno de Física da UEFS**, Feira de Santana, v.21, n.2, p.2501.1-16, 2023.

LABURÚ, C. E.; SILVA, O. H. M.; ZÔMPERO, A. F. *Affordances* dos materiais como indutores de equívocos durante experimentos para o ensino de física. **Revista Ensaio**, Belo Horizonte, v.19, p.1-15, 2017.

LATOUR, B. **Pandora's hope: Essays on the reality of science studies**. Cambridge: Harvard university press, 1999.

LATOUR, B. Visualization and cognition. **Knowledge and society**, v.6, n.6, p.1-40, 1986.

LEHRER, R.; SCHAUBLE, L. Cultivating model-based reasoning in science education. *In*: SAWYER, K. **Cambridge handbook of the learning sciences**. Cambridge: Cambridge University Press, 2006.

LEMKE, J. L. Mathematics in the middle: Measure, picture, gesture, sign, and word. Educational perspectives on mathematics as semiosis: From thinking to interpreting to knowing. *In*: ANDERSON, M.; SÄENZ-LUDLOW, A.; ZELLWEGER, S.; CIFARELLI, V.V. **Educational Perspectives on Mathematics as Semiosis: From Thinking to Interpreting to Knowing**. Ottawa: Legas Publishing, 2003.

LEMKE, J. L. **The literacies of science**. Barksdale: International Reading Association, 2004.

LORENCINI JÚNIOR, Á. As Demandas Formativas do Professor de Ciências. *In*: CAINELLI, M. R.; SILVA I. F. (Organizadoras). **O Estágio na Licenciatura**: a formação de professores e a experiência interdisciplinar na Universidade Estadual de Londrina. Londrina: UEL, p.21-42, 2009.

MACHADO, N. J. Sobre a ideia de competência. *In*: PERRENOUD, P.; THURLER, M. G. **As competências para ensinar no século XXI**: a formação dos professores e o desafio da avaliação. Porto Alegre: Artmed Editora, 2007.

MARCHESI, M. Q.; CUSTÓDIO, R. Evolução histórica dos modelos atômicos. **Revista Chemkeys**, v.5, p.e023003-e023003, 2023.

MARCONI, M de A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos da metodologia científica**. São Paulo: Editora Atlas S.A., 2003.

MARTINEZ, S. L.; STAGER, G. S. **Invent To Learn**: Making, Tinkering, and Engineering in the Classroom. Torrance: Constructing Modern Knowledge Press, 2013.

MENDES, L. O. R.; DE PROENÇA, M. C.; MOREIRA, M. A. Ensino-Aprendizagem de Matemática via Resolução de Problemas: reflexões sob o enfoque da aprendizagem significativa crítica. **Ensino da Matemática em Debate**, São Paulo, v.9, n.2, p.17-36, 2022.

MENDONÇA, P. X. Sistemas e artefatos: em torno de uma semiótica material dos dispositivos de navegação. **Scientiae Studia**, São Paulo, v.12, n.3, p.491-510, 2014.

MIROLI, A. El espacio háptico: más allá de la razón visual. **Revista Tempos e Espaços em Educação**, São Cristóvão, v.11, n.25, p.189-202, 2018.

MONTE, W. S.; FEITOSA, E. R. M.; DE-BORTOLI, R. Patentes de processos, *gamification* e proteção ao usuário a partir da análise do software Iramuteq. **Rev. Technol. Soc.**, Curitiba, v.17, n.47, p.172-182, 2021.

MOREIRA, M. A. ¿Al final, qué es aprendizaje significativo?. **Curriculum**, La Laguna, n.25, 2012.

MOREIRA, M. A. Negociação de significados e aprendizagem significativa. **Ensino, Saúde e Ambiente**, Niterói, v.1, n.2, 2008.

MORTIMER, E. F. Construtivismo, mudança conceitual e ensino de ciências: para onde vamos? **Investigações em ensino de ciências**, Porto Alegre, v.1, n.1, p.20-39, 1996.

NELSON, O. R.; CARNEIRO FILHO, R. Da valorização dos erros à construção das soluções apropriadas: uma estratégia didática na aprendizagem das equações de Maxwell. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v.33, 2011.

NEMER, D. Repensando as desigualdades digitais: as promessas da *web 2.0* para os marginalizados. **R. Tecnol. Soc.**, Curitiba, v.15, n.35, p.172-193, 2019.

NERIS, V. P. de A.; BARANAUSKAS, M. C. C. Designing tailorable software systems with the users' participation. **Journal of the Brazilian Computer Society**, Porto Alegre, v.18, n.3, p.213-227, 2012.

NERSESSIAN, N. Mental Modeling in Conceptual Change. *In*: VOSNIADOU, S. **International handbook of research on conceptual change**. New York: Routledge, 2008.

NOBRE, F. S. S.; COSTA, C. L. A.; OLIVEIRA, D. L. de.; CABRAL, D. M.; NOBRE, G. C.; CAÇOLA, P. Análise das oportunidades para o desenvolvimento motor (*affordances*) em ambientes domésticos no Ceará - Brasil. **Revista brasileira de crescimento e desenvolvimento humano**, São Paulo, v.19, n.1, p.9-18, 2009.

NOGARO, A.; GRANELLA, E. O erro no processo de ensino e aprendizagem. **Revista de Ciências Humanas**, Frederico Westphalen, v.5, n.5, p.31-56, 2004.

NORMAN, D. Some observations on mental models. *In*: GENTNER, D.; STEVENS, A. **Mental models**. Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates, 1983.

NORRIS, S. P.; PHILLIPS, L. M. How literacy in its fundamental sense is central to scientific literacy. **Science education**, v.87, n.2, p.224-240, 2003.

NUTHALL, G. The way students learn: Acquiring knowledge from an integrated science and social studies unit. **The elementary school journal**, Chicago, v.99, n.4, p.303-341, 1999.

OH, P. S.; OH, S. J. What teachers of science need to know about models: An overview. **International Journal of Science Education**, London, v.33, n.8, p.1109-1130, 2011.

PACHECO, S. M. V.; DAMASIO, F. Mapas conceituais e diagramas V: ferramentas para o ensino, a aprendizagem e a avaliação no ensino técnico. **Ciências & Cognição**, Rio de Janeiro, v.14, n.2, p.166-193, 2009.

PAIVA JÚNIOR, F. G. de; LEÃO, A. L. M. de S.; MELLO, S. C. B. de. Validade e confiabilidade na pesquisa qualitativa em administração. **Revista de ciências da administração**, Florianópolis, v. 13, n. 31, p. 190-209, 2011.

PALETTA, G. C Menstruapps: sobre poder tocar, ser tocada e onde. **R. Tecnol. Soc.**, Curitiba, v.14, n.34, p.159-177, 2018.

PAPERT, S. **A máquina das crianças**. Porto Alegre: Artmed, 2008.

PAPERT, S. **Logo: Computadores e Educação**. São Paulo: Editora Brasiliense, 1980.

PASSMORE, C.; STEWART, J.; CARTIER, J. Model-based inquiry and school science: Creating connections. **School Science and Mathematics**, Hoboken, v.109, n.7, p.394-402, 2009.

PEIRCE, C. S. **Collected papers of charles sanders peirce**. Massachusetts: Harvard University Press, 1931.

PEREIRA, W. O.; LIMA, F. T. Desafio, Discussão e Respostas: estratégia ativa de ensino para transformar aulas expositivas em colaborativas. **Einstein**, São Paulo, v.16, 2018.

POZO, J. I.; GÓMEZ CRESPO, M. Á. **Aprender e ensinar ciências**: do conhecimento cotidiano ao conhecimento científico. Las Rozas de Madrid: Edições Morata, 2009.

PRAIN, V.; TYTLER, R. Learning through constructing representations in science: A framework of representational construction affordances. **International journal of science education**, Londres, v.34, n.17, p.2751-2773, 2012.

PRINS, G. T.; BULTE, A. M.; DRIEL, J. H.; PILOT, A. Students' Involvement in Authentic Modelling Practices as Contexts in Chemistry Education. **Research in Science Education**, Berlim, v.5, n.39, p.681-700, 2009.

PUHL, J.; BORGES, E. F. do V.; SILVA, R. C. da. Abordagem ecológica e emergência de classificadores na Libras. **Calidoscópico**, São Leopoldo, v.16, n.1, p.87-102, 2018.

REA-RAMIREZ, M. A.; CLEMENT, J.; NÚÑEZ-OVIEDO, M. C. An instructional model derived from model construction and criticism theory. *In*: **Model based learning and instruction in science**. Dordrecht: Springer, 2008.

REIF, F.; LARKIN, J. H. Cognition in scientific and everyday domains: Comparison and learning implications. **Journal of research in science teaching**, Hoboken, v.28, n.9, p.733-760, 1991.

RUSSELL, T., MCGUIGAN, L. Promoting understanding through representational redescription: an illustration referring to young pupils' ideas about gravity. *In*: PSILLOS, D.; KARIOTOGLOU, P.; TSELFES, V.; HATZIKRANIOTIS, E.; FASSOULOPOULOS, G.; KALLERY, M. **Science education research in the knowledge-based society**. Thessaloniki: Proceedings of the Third International Conference of the ESERA, 2001.

SANTOS, G. C. Aplicando conceitos teóricos em atividades educacionais no campo do *mlearning*: *affordance*, agência e rizoma. **Olhares & Trilhas**, Uberlândia, v.21, n.1 p.83-95, 2019.

SANZOVO, D. T.; LABURÚ, C. E. Níveis significantes do significado das estações do ano com o uso de diversidade representacional na formação inicial de professores de Ciências. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, Rio de Janeiro, p.745-772, 2017.

SAUL, E. W. **Crossing borders in literacy and science instruction**: Perspectives on theory and practice. Barksdale: International Reading Association, 2004.

SAZALLI, N. Pedagogical affordances of smart mobile devices integrated with Web 2.0 tools to enhance English language teaching and learning. *In: **Mobile as a mainstream – towards future challenges in mobile learning***: 13th world conference on mobile and contextual learning, Istanbul, 2014.

SCHWARZ, A. The becoming of the experimental mode. **Scientiae Studia**, São Paulo, v.10, nspe, p.65-83, 2012.

SCHWARZ, C. V.; GWEKWERERE, Y. N. Using a guided inquiry and modeling instructional framework (EIMA) to support preservice K-8 science teaching. **Science education**, Hoboken, v.91, n.1, p.158-186, 2007.

SCHWARZ, C. V.; WHITE, B. Y. Metamodeling knowledge: Developing students' understanding of scientific modeling. **Cognition and instruction**, Londres, v.23, n.2, p.165-205, 2005.

SEIXAS, R. H. M.; CALABRÓ, L.; SOUSA, D. O. A Formação de professores e os desafios de ensinar Ciências. **Revista Thema**, Pelotas, v.14, n.1, p.289-303, 2017.

SENRA, C. P.; BRAGA, M. Inovação disruptiva: um olhar sobre os ambientes educativos inovadores. **REnCiMa**, São Paulo, v.10, n.4, p.101-115, 2019.

SILVA, J.; FRONIO, J. da S.; LEMOS, R. A.; RIBEIRO, L. C.; AGUIAR, T. S. de; SILVA, D. T.; VIEIRA, M. T.; NEVES, L. A. T. Oportunidades de estimulação no domicílio e habilidade funcional de crianças com potenciais alterações no desenvolvimento. **Journal of Human Growth and Development**, São Paulo, v.25, n.1, p.19-26, 2015.

SILVA, O. H. M. da; LABURÚ, C. E. Instrumentação em educação científica e o convite ao erro: uma leitura a partir do referencial de *affordances*. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v.34, n.2, p.404-413, 2017.

SILVA, O. H. M. da. Proposta de ensino do ciclo Stirling reunindo duas máquinas térmicas na perspectiva da multimodalidade representacional com avaliação formativa. **Revista Ciências & Ideias**, Nilópolis, v.14, p.1-21, 2023.

SILVA, W. R. da; LISBOA, T.; FERRARI, E. P.; FREITAS, K. T. D. de; CARDOSO, F. L.; MOTTA, N. F. de A.; TKAC, C. M. Opportunities for motor stimulation in the home environment of children. **Journal of Human Growth and Development**, São Paulo, v.27, n.1, p.84-90, 2017.

SINATRA, G. M. The “warming trend” in conceptual change research: The legacy of Paul R. Pintrich. **Educational psychologist**, Londres, v.40, n.2, p.107-115, 2005.

SOBRINHO, J. D. Avaliação quantitativa, avaliação qualitativa: interações e ênfases. **Psicologia da Educação**, São Paulo, n.2, p.9-23, 1996.

TUROLLO, A. *Affordances* na interação online de aprendizes de inglês na modalidade educação a distância. **Ilha do Desterro**, Florianópolis, v.73, n.1, p.183-203, 2020.

TYTLER, R.; PRAIN, V.; HUBBER, P.; WALDRIP, B. **Constructing representations to learn in science**. Rotterdam: Sense Publishers, 2013.

TYTLER, R.; PRAIN, V. A framework for re-thinking learning in science from recent cognitive science perspectives. **International Journal of Science Education**, v.32, n.15, p.2055-2078, 2010.

ULLMANN, S. **Semântica**: uma introdução à ciência do significado. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1964.

VAN DER VALK, T.; VAN DRIEL, J. H.; DE VOS, W. Common characteristics of models in present-day scientific practice. **Research in Science Education**, Berlim, v.37, p.469-488, 2007.

VERGENNES, D. S.; CAMARGO FILHO, P. S. de.; SALVI, R. F.; LABURÚ, C. E. Interpretando o conceito de *affordance*: contextos ecológicos de aprendizagem científica. *In*: Encontro nacional de pesquisa em educação em ciências, 12., 2019, Natal, **Anais** [...]. Natal: Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2019.

VERGENNES, D. S.; CAMARGO FILHO, P. S. de. Estudo das *affordances* para aprendizagem dos conceitos de perspectiva, em óptica física, por meio de um simulador de hologramas, para o ensino médio. *In*: Simpósio nacional de ensino e aprendizagem: atualidades, perspectivas e desafios, 3., 2016, Londrina. **Anais** [...]. Londrina: UTFPR, 2016.

VERGENNES, D. S.; LABURÚ, C. E.; CAMARGO FILHO, P. S. de. Uma perspectiva semiótica de avaliação em física. *In*: Encontro de pesquisa em ensino de física, 19., 2022, EPEF. **Anais** [...]. *Online*, 2022.

VERGENNES, D. S.; LABURÚ, C. E.; CAMARGO FILHO, P. S. de. Conceituações de *affordance* no ensino de física, no Brasil: avanços e limites. *In*: Encontro nacional de pesquisa em educação em ciências, 13., 2021, ENPEC em redes. **Anais** [...]. *Online*, 2021.

VERGENNES, D. S.; LABURÚ, C. E. Perspectiva conceitual de *affordance* na literatura nacional: área de ensino. *In*: RAMOS, E. da S.; LABURÚ, C. E. (org.). **Multimodalidade representacional e a educação científica**: conceitos, estudos e práticas. Curitiba: CRV, 2022.

VERGENNES, D. S. **Estudo das *affordances* para aprendizagem dos conceitos de perspectiva holográfica, em óptica física, por meio de um simulador de hologramas, para o ensino médio**. 2017. Monografia (Especialização em Educação em Matemática e Ciências) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2017.

VERGENNES, D. S. **Tendências norteadoras**: uma leitura do conceito de *affordance* voltada ao ensino de física. 2020. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Educação Matemática) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2020.

VILLATORRE, A. M.; HIGA, I.; TYCHANOWICZ, S. D. **Didática e avaliação em física**. São Paulo: Saraiva, 2009.

VOLLI, U. **Manual de Semiótica**. São Paulo: Edições Loyola, 2012.

VYGOTSKY, L. S.; COLE, M. **Mind in society**: Development of higher psychological processes. Londres: Harvard University Press, 1978.

VYGOTSKY, L. S. The instrumental method in psychology. *In*: WERTSCH, J. **The concept of activity in Soviet psychology**. New York: ME. Sharpe, 1981.

ZANCOPÉ, T.; EI KADRI, M. S. *Affordances* do protótipo “*teaching english to teachers*”: contribuições da perspectiva da justiça social, da educação antirracista e do web-currículo para as aulas de inglês na formação de professores de línguas. **Ilha do Desterro**, Florianópolis, v.74, n.3, p.463-491, 2022.

WILSON, M. Six views of embodied cognition. **Psychonomic bulletin & review**, v.9, p.625-636, 2002.

APÊNDICES

APÊNDICE A

Figura 8 – Análise conceitual do capítulo de livro *Perspectiva conceitual de affordance na literatura nacional: área de ensino* (Vergennes; Laburú, 2022).



Fonte: o próprio autor.

APÊNDICE B

Figura 9 – Análise conceitual do artigo *Affordances dos materiais como indutores de equívocos durante experimentos para o ensino de física* (Laburú; Silva; Zômpero, 2017).



Fonte: (Vergennes, 2020).

APÊNDICE C

Figura 10 – Análise conceitual do artigo *Instrumentação em educação científica e o convite ao erro: uma leitura a partir do referencial de affordances* (Silva; Laburú, 2017).



Fonte: (Vergennes, 2020).

APÊNDICE D

Figura 11 – Análise conceitual do artigo *Affordances negativos em documentários de história da física como indutores de equívocos de interpretação de estudantes* (Laburú; Silva; Camargo Filho; Zômpero, 2023).



Fonte: o próprio autor.

APÊNDICE E

Figura 12 – Análise conceitual da tese *Identificação e superação dos equívocos conceituais e procedimentais provocados por affordances negativas no processo de ensino e aprendizagem de química* (Gregório, 2021).



Fonte: o próprio autor.

APÊNDICE F

Figura 13 – Análise conceitual da tese *Leitura semiológica de analogias pictóricas utilizadas no ensino de química* (Hernandes, 2023).



Fonte: o próprio autor.