



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA

DANIEL MOTA RICARDO

**ANALOGIA CIRCUITO ELÉTRICO X CIRCUITO HIDRÁULICO: POTENCIALIDADES
PEDAGÓGICAS DE UM PROTÓTIPO DIGITAL DE UM MODELO ANALÓGICO PARA
O ENSINO DE CONCEITOS BÁSICOS EM ELETRODINÂMICA**

Belo Horizonte
2024



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA

DANIEL MOTA RICARDO

**ANALOGIA CIRCUITO ELÉTRICO X CIRCUITO HIDRÁULICO: POTENCIALIDADES
PEDAGÓGICAS DE UM PROTÓTIPO DIGITAL DE UM MODELO ANALÓGICO PARA
O ENSINO DE CONCEITOS BÁSICOS EM ELETRODINÂMICA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Educação Tecnológica (PPGET) do Centro Federal em Educação Tecnológica de Minas Gerais CEFET-MG como requisito parcial para obtenção do título de mestre.

Professor orientador: Dr. Alexandre da Silva Ferry.

Linha de Pesquisa: Práticas Educativas e Tecnologias Educacionais

Belo Horizonte
2024

R488a Ricardo, Daniel Mota
Analogia circuito elétrico x circuito hidráulico: potencialidades pedagógicas de um protótipo digital de um modelo analógico para o ensino de conceitos básicos em eletrodinâmica / Daniel Mota Ricardo. – 2024.
163 f.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação Tecnológica.
Orientador: Alexandre da Silva Ferry.
Dissertação (mestrado) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais.

1. Analogia – Teses. 2. Analogia – Modelos – Teses. 3. Física (Ensino médio) – Teses. 4. Circuitos elétricos – Teses. 5. Eletrodinâmica – Teses. I. Ferry, Alexandre da Silva. II. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. III. Título.

CDD 370.733



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA - PPGET
Portaria MEC nº. 1.077, de 31/08/2012, republicada no DOU em 13/09/2012

DANIEL MOTA RICARDO

**ANALOGIA CIRCUITO ELÉTRICO X CIRCUITO HIDRÁULICO:
POTENCIALIDADES PEDAGÓGICAS DE UM PROTÓTIPO DIGITAL DE UM
MODELO ANALÓGICO PARA O ENSINO DE CONCEITOS BÁSICOS EM
ELETRODINÂMICA**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Educação Tecnológica do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET-MG, em 29 de abril de 2024, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Educação Tecnológica, aprovada pela Comissão Examinadora de Defesa de Dissertação constituída pelos professores:

Documento assinado digitalmente
 **ALEXANDRE DA SILVA FERRY**
Data: 30/04/2024 10:10:03-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof. Dr. Alexandre da Silva Ferry – Orientador
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

Documento assinado digitalmente
 **ALEXANDRE FAGUNDES FARIA**
Data: 30/04/2024 14:25:34-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof. Dr. Alexandre Fagundes Faria
Universidade Federal de Minas Gerais

Documento assinado digitalmente
 **VINÍCIUS CATÃO DE ASSIS SOUZA**
Data: 30/04/2024 10:54:28-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof. Dr. Vinícius Catão de Assis Souza
Universidade Federal de Viçosa

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a quem ainda está em gestação na barriga de sua mãe.
Mas que já é presente em minha vida, que já me faz querer ser o melhor que posso.
Dedico a ti, minha filha Isadora.

AGRADECIMENTOS

À memória de meus pais, que, mesmo ausentes fisicamente, continuam e continuarão a fazer parte das minhas conquistas e trajetória de vida. Sigo honrando vocês e os tenho como fonte de inspiração para que eu faça coisas que valham a pena. Este trabalho acadêmico é uma delas.

Aos meus dois irmãos, Carlos Alberto e William Mota, exemplos e companheiros de vida, agradeço pela parceria e por serem pessoas cujo apoio é afetuoso, sincero e acolhedor. Ao me tornar o primeiro de nós a conquistar um título de mestre, sei que essa vitória também é de vocês, é compartilhada, e que os caminhos continuem a se abrir, luminosos, para os nossos.

Agradeço à minha amada companheira Raquel Lanza. Foi um período de intensa dedicação aos estudos, o que me fez ausente em vários momentos importantes. Sua compreensão e apoio foram âncora que me manteve firme. Amo-te imensamente.

Ao meu estimado orientador, Alexandre da Silva Ferry, expresso minha profunda gratidão. Sua paciência, seus ensinamentos e técnica acadêmica impecável foram fundamentais para o sucesso desta jornada. Sua orientação guiou, não apenas este trabalho, mas também a minha compreensão mais ampla sobre o desenvolvimento de uma boa pesquisa.

Aos colegas do grupo de estudos GEMATEC, em especial à Vivian Farias, pela convivência e contribuições acadêmicas.

Ao amigo Eurípedes, pela técnica e criatividade, fundamentais para o desenvolvimento da prototipagem digital do modelo analógico desenvolvido.

Aos meus amigos próximos, que não citarei nomes para não deixar de mencionar nenhum de vocês, obrigado por estarem ao meu lado, por me incentivarem e por serem uma válvula de escape nos momentos em que eu precisava repor as energias.

Esta dissertação não é mérito apenas meu, é também de todos que comigo estão, estiveram e estarão.

RICARDO, Daniel Mota. **Analogia circuito elétrico x circuito hidráulico: potencialidades pedagógicas de um protótipo digital de um modelo analógico para o ensino de conceitos básicos em eletrodinâmica.** Orientador: Dr. Alexandre da Silva Ferry. 2024. 163 p. Dissertação (Mestrado em Educação Tecnológica) - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2024.

RESUMO

Esta dissertação apresenta os resultados de uma pesquisa de mestrado em Educação Tecnológica, conduzida no campo de estudos sobre o Ensino de Física fundamentado em analogias e modelos, no contexto da linha de pesquisa sobre Práticas Educativas e Tecnologias Educacionais. O objeto de investigação são as potencialidades pedagógicas de um modelo analógico de um circuito elétrico construído por prototipagem digital para uso no ensino de conceitos básicos da Eletrodinâmica. Como o estudo da Eletrodinâmica envolve conceitos com alto grau de abstração, o uso de modelos e analogias é particularmente importante no ensino e aprendizagem deste tópico. As analogias são usadas no ensino de Física para incentivar os estudantes a associarem fenômenos supostamente mais familiares e conhecidos aos fenômenos físicos a serem estudados. No ensino de conceitos básicos da Eletrodinâmica, uma analogia bastante empregada por professores em sala de aula e em textos de livros didáticos é a analogia entre circuitos hidráulicos e circuitos elétricos. Os modelos, por sua vez, podem ser vistos como pontes entre a teoria científica e o mundo como o experimentamos, e podem ser usados para uma variedade de propósitos. Dentre os diferentes tipos de modelos, iremos trabalhar com aqueles que, planejados e materializados como recurso didático, têm como base de construção analogias para representar um fenômeno físico alvo. Esses modelos, chamados de modelos analógicos, podem se configurar como importantes recursos mediacionais para o Ensino da Eletrodinâmica, pois, a partir deles, abstrações podem ser materializadas e relações analógicas podem ser agrupadas, estimulando o aprendizado integrado desses conceitos. Nesse contexto, essa pesquisa foi orientada a partir da seguinte questão: Considerando tanto aspectos estruturais, semânticos e pragmáticos, quanto as percepções de professores de Física, de que maneira o uso de um modelo analógico, fundamentado na comparação entre circuitos hidráulicos e elétricos e desenvolvido por meio de prototipagem digital, contribui para o ensino de conceitos básicos da Eletrodinâmica? O método investigativo realizado para responder à questão de pesquisa compreendeu a exploração de algumas comparações feitas entre circuitos hidráulicos e elétricos, agrupando elementos e relações dessa analogia na construção de um protótipo digital do modelo analógico. Após a prototipagem digital, foi realizada a análise de conteúdo de entrevistas feitas com professores da Educação Profissional Técnica de nível médio e o mapeamento estrutural desse modelo. Essas duas etapas nos permitiram elaborar inferências quanto ao potencial pedagógico desse recurso para o uso no ensino de conceitos básicos da Eletrodinâmica. Os resultados indicam que o modelo analógico prototipado é um artefato didático com potencial promissor, favorecendo a compreensão de grandezas físicas fundamentais no estudo dos circuitos elétricos, como a corrente elétrica, a diferença de potencial elétrico e a resistência à passagem da corrente elétrica.

Palavras-chave: Analogias; Modelos analógicos; Ensino de Física; Circuitos elétricos; Eletrodinâmica.

ABSTRACT

This dissertation presents the results of a master's research in Technological Education, conducted in the field of studies on Physics Teaching grounded in analogies and models, within the context of a research line on Educational Practices and Educational Technologies. Its research object is the pedagogical potentials of an analog model of an electric circuit built through digital prototyping for use in teaching basic concepts of Electrodynamics. As the study of Electrodynamics involves highly abstract concepts, the use of models and analogies is particularly important in teaching and learning this subject. Analogies are employed in Physics education to encourage students to associate supposedly more familiar and known phenomena with the physical phenomena under study. In teaching basic concepts of electrodynamics, a widely used analogy by teachers in the classroom and in textbooks is the analogy between hydraulic and electric circuits. Models, in turn, can be seen as bridges between scientific theory and the world as we experience it, and can be used for a variety of purposes. Among different types of models, we will work with those planned and materialized as educational resources, based on analogies to represent a target physical phenomenon. These models, called analog models, can be significant mediating resources for teaching Electrodynamics because they enable abstractions to be materialized, and analogical relations to be grouped, stimulating integrated learning of these concepts. In this context, this research was guided by the following question: Considering both structural, semantic and pragmatic aspects, as well as the perceptions of Physics teachers, how does the use of an analogical model, based on the comparison between hydraulic and electric circuits and developed through digital prototyping, contribute to the teaching of basic concepts of Electrodynamics? The investigative method employed to answer the research question involved exploring some comparisons made between hydraulic and electric circuits by grouping elements and relations of this analogy in the construction of a digital prototype of the analog model. After digital prototyping, content analysis of interviews conducted with teachers of professional and technological education at the secondary level, and structural mapping of this model was performed. These two stages allowed us to make inferences regarding the pedagogical potential of this resource for use in teaching basic concepts of Electrodynamics. The results indicate that the prototyped analog model is a didactic artifact with promising potential, favoring the understanding of fundamental physical quantities in the study of electric circuits, such as electric current, electric potential difference, and resistance to the passage of electric current.

Keywords: Analogies; Analog models; Physics teaching; Electric circuits; Electrodynamics

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diagrama de interseção dos campos de estudo envolvidos na pesquisa.	19
Figura 2 – Etapas da revisão sistemática.	24
Figura 3 – Relação de artigos selecionados por base de dados.	30
Figura 4 – Classificação dos artigos selecionados.	31
Figura 5 – Trabalhos analisados por conteúdo de ensino.	32
Figura 6 - Mapa de similaridades	46
Figura 7 - O modelo da modelagem.	59
Figura 8 - Modelo analógico de um circuito elétrico.	63
Figura 9 - Unidade de análise.	64
Figura 10 – Fluxograma da metodologia de pesquisa.	67
Figura 11 – Desenvolvimento do modelo analógico	68
Figura 12 – Protótipo digital do modelo de circuito hidráulico (domínio base) e do modelo de circuito elétrico (domínio alvo)	76
Figura 13 – PRODMACE fundamentado na comparação entre os circuitos hidráulico e elétrico com a indicação dos elementos em correspondência	78
Figura 13a –Vista em detalhe das válvulas/disjuntores e dos controladores de fluxo/lâmpadas	79
Figura 13b –Vista do PRODMACE recipiente de água/bateria e bomba em primeiro plano.	79
Figura 13c – Vista superior do PRODMACE	80
Figura 14 – Estrutura relacional do modelo analógico do circuito elétrico baseado na comparação com o circuito hidráulico	105
Figura 15 - Exemplos de demonstração de similaridade semântica	107

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Restrições psicológicas das analogias segundo os referenciais teóricos	50
Quadro 2: Mapeamento estrutural da comparação entre o modelo atômico de Dalton e uma bola de sinuca.	51
Quadro 3: Mapeamento estrutural da comparação entre o modelo atômico de Rutherford e o sistema solar	52
Quadro 4: Identificação dos livros didáticos – PNLD 2018	70
Quadro 5: Identificação dos livros didáticos – PNLD 2021	71
Quadro 6: Identificação dos livros didáticos – AIP	72
Quadro 7: Elementos constituintes dos modelos no DB e no DA	77
Quadro 8: Categorias de análise dos dados empíricos.	84
Quadro 9: Padrão de representação utilizado nas correspondências no mapeamento estrutural de comparações	86
Quadro 10a: Trechos da transcrição de respostas dos professores entrevistados à pergunta sobre como definem o termo analogia.	89
Quadro 10b: Trechos da transcrição de respostas dos professores entrevistados à pergunta sobre recorrência do uso de analogias.	90
Quadro 10c: Trechos da transcrição de respostas dos professores entrevistados à pergunta sobre o motivo da Eletrodinâmica ter muitos estudos sobre o uso de analogias.	92
Quadro 10d: Trechos da transcrição de respostas dos professores entrevistados à pergunta sobre analogias que eles conhecem para a Eletrodinâmica diferentes da hidráulico-elétrica.	92
Quadro 10e: Trechos da transcrição de respostas dos professores entrevistados à pergunta sobre se eles teriam interesse em utilizar o modelo analógico em suas aulas de Eletrodinâmica...	94
Quadro 10f: Trechos da transcrição de respostas dos professores entrevistados à pergunta sobre quais eram as vantagens que eles identificavam no possível uso do modelo.	95
Quadro 10g: Trechos da transcrição de respostas dos professores entrevistados à pergunta sobre quais conceitos abordariam em um possível uso do modelo.	96
Quadro 10h: Trechos da transcrição de respostas dos professores entrevistados à pergunta sobre se eles identificaram desvantagens em um possível uso do modelo.	97
Quadro 10i: Trechos da transcrição de respostas dos professores entrevistados à pergunta sobre indicações de melhoria ao modelo.	97
Quadro 10j: Trechos da transcrição de respostas dos professores entrevistados à pergunta sobre como eles percebiam as práticas fundamentadas em modelagem.	98
Quadro 11: Mapeamento estrutural do protótipo digital do modelo analógico	100

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resultado das buscas nas bases de dados.	29
Tabela 2 – Elementos dos domínios comparados nas CPA analisadas	73
Tabela 3 – Atributos dos Elementos dos domínios comparados nas CPA analisadas	73
Tabela 4 – Relações explícitas nas CPA analisadas	73

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AIP	Instituto Americano de Física
BDTD	Biblioteca digital brasileira de teses e dissertações
CAAE	Certificado de Apresentação para Apreciação Ética
CAFE	Comunidade Acadêmica Federada
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CBE	Conceitos básicos da Eletrodinâmica
CEFET-MG	Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais
CEP	Conselho de Ética em Pesquisa
CPA	Comparações potencialmente analógicas
DA	Domínio alvo
DB	Domínio base
EPTNM	Educação Profissional e Técnica de Nível Médio
ERIC	<i>Educational Resources Information Centre</i>
LDB	Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional
MAPES	Sistema para Mapeamento Estrutural de Analogias
MG	Minas Gerais
PNLD	Plano Nacional do Livro Didático
PRODMACE	Protótipo digital de um modelo analógico de um circuito elétrico
SCIELO	<i>Scientific Electronic Library Online</i>
SNEF	Simpósio Brasileiro de Ensino de Física
TALE	Termo de Assentimento Livre e Esclarecido
TAM	Teoria da Ação Mediada
TCC	Trabalho de conclusão de curso
TCLE	Termo de Consentimento Livre e Esclarecido
TME	Teoria do Mapeamento Estrutural
TMR	Teoria das Múltiplas Restrições
UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais
UNESCO	Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
1.1. Apresentação da proposta.....	14
1.2. Problema de pesquisa.....	15
1.3. Objetivos.....	16
1.3.1. Objetivo geral.....	16
1.3.2. Objetivos específicos.....	16
1.4. Apresentação do pesquisador e sua relação com o objeto da pesquisa.....	17
1.5. Campos em que a pesquisa se insere.....	18
1.6. Justificativa.....	19
1.7. Panorama da dissertação.....	21
2. REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA.....	23
2.1. Objetivos.....	25
2.2. Âmbito.....	25
2.3. Equações de busca.....	26
2.3.1. Busca na base Scopus.....	26
2.3.2. Busca na base ERIC.....	27
2.3.3. Busca na base Scielo Brasil.....	27
2.3.4. Busca na base BDTD.....	27
2.4. Critérios de inclusão / exclusão e validação metodológica.....	28
2.4.1. Critérios de inclusão/exclusão dos artigos.....	28
2.4.2. Validação metodológica.....	28
2.5. Resultados.....	29
2.6. Tratamento de Dados.....	32
2.7. Conclusão da Revisão Sistemática.....	35
3. REFERENCIAL TEÓRICO.....	36
3.1. O Ensino de Física e o emprego de Modelos e Analogias.....	37
3.2. Educação Profissional e Técnica de Nível Médio.....	39
3.3. Aproximação Sociocultural e a Ação mediada.....	41
3.4. Práticas educativas fundamentadas em analogias.....	43
3.5. Práticas educativas fundamentadas em modelagem.....	56

3.6. Modelos analógicos.....	61
3.7. Unidade de análise.....	63
4. METODOLOGIA DA PESQUISA.....	65
4.1. 1ª etapa: Construção do protótipo do modelo analógico.....	68
4.1.1. Levantamento das analogias.....	69
4.1.2. Levantamento dos elementos, atributos e relações.....	72
4.1.3. Prototipagem digital do modelo analógico.....	75
4.2. 2ª etapa: Entrevista com professores da EPTNM.....	81
4.3. 3ª etapa: Análise de conteúdo.....	83
4.4. 4ª etapa: Mapeamento estrutural da analogia.....	85
4.5. 5ª etapa: Inferências sobre o potencial pedagógico do PRODMACE.....	88
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	89
5.1. Análise de conteúdo.....	89
5.1.1. Aspectos gerais sobre as analogias e práticas educativas com uso de modelos:.....	89
5.1.2. Percepções, potencialidades, limitações e sugestões de melhoria para o modelo analógico prototipado.....	93
5.2. Mapeamento Estrutural.....	99
5.3. Inferências - Potencial pedagógico do Modelo analógico.....	109
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	112
7. REFERÊNCIAS.....	117
APÊNDICE I - TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE).....	125
APÊNDICE II- ROTEIRO DE ENTREVISTA SEMIESTRUTURADA.....	128
APÊNDICE III - TERMO DE ANUÊNCIA.....	131
APÊNDICE IV - TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA USO DE VOZ E/OU IMAGEM.....	133
APÊNDICE V - TRANSCRIÇÃO DAS GRAVAÇÕES DA ENTREVISTA SEMIESTRUTURADAS.....	135

1. INTRODUÇÃO

Este capítulo de introdução compreende a exposição da proposta de estudo e sua gênese, bem como a delimitação do problema e dos objetivos da pesquisa. Além disso, abarca a apresentação do pesquisador e sua vinculação com o tema de investigação, os campos de estudo nos quais a pesquisa se enquadra, a justificativa e o contexto da dissertação.

1.1. Apresentação da proposta

A Física na Educação Básica é uma disciplina em que, não somente muitos estudantes relatam enfrentar dificuldades de aprendizado, como também muitos professores reportam suas frustrações ao constatar a dificuldade dos estudantes em assimilar o conhecimento científico, mantendo concepções e explicações alternativas para os fenômenos físicos estudados (Moodley; Gaigher, 2019). Entre os tópicos comumente ensinados, a Eletrodinâmica ou simplesmente Circuitos Elétricos, representa um desafio considerável em termos de estratégias didáticas para os professores, e uma barreira cognitiva para os estudantes, pois os conceitos da Eletrodinâmica exigem um alto grau de abstração, requerendo o desenvolvimento de modelos mentais para a sua compreensão (Taber; de Trafford; Quail, 2006).

Nesse contexto, as analogias e os modelos desempenham um papel importante no Ensino da Eletrodinâmica, podendo ajudar os estudantes na aprendizagem dos conceitos e a compreender, ao menos parcialmente, aspectos da natureza da Ciência ao criar e lidar com essas formas de representação (Duit, 1991; Clement, 2008). Esses recursos são ferramentas importantes para o ensino científico e podem ser usados para explorar e desenvolver percepções sobre fenômenos físicos.

O raciocínio analógico é uma habilidade cognitiva amplamente usada em nossas vidas cotidianas, bem como em ambientes formais, como na pesquisa e no ensino. A eficácia das analogias reside na capacidade de permitir que os estudantes estabeleçam vínculos cognitivos entre o que já sabem e o que estão aprendendo, integrando, dessa forma, os novos conceitos de Física ao seu conhecimento existente (Fotou; Abrahams, 2020). Assim, podemos dizer que o objetivo do uso das analogias em sala de aula seria o de apresentar conceitos desconhecidos ou pouco conhecidos a partir de ideias familiares. De acordo com Duit (1991), as analogias auxiliam na aprendizagem dos estudantes, favorecendo a imaginação de estruturas, sistemas, processos ou ideias das Ciências a partir de coisas mais conhecidas e tangíveis.

Além disso, as analogias lhes permitem estabelecer correspondências de similaridade entre aspectos do mundo vivido pelos estudantes com as questões apresentadas pela Ciência, aumentando assim, a motivação para o aprendizado. Dentre as analogias utilizadas para o ensino de conceitos básicos dos circuitos elétricos, a comparação entre circuitos elétricos e hidráulicos está entre as mais populares, sendo encontrada facilmente em livros didáticos e em práticas educativas nas salas de aula de Física (Mulhall; Mckittrick; Gunstone, 2001). Essa popularidade pode ser explicada pelo fato dessa analogia ter várias relações mapeáveis entre os domínios alvo e base e utilizar um elemento (fluido hidráulico) com o qual os estudantes têm alguma experiência direta, o que a torna útil para ilustrar o comportamento de circuitos elétricos.

Sobre os modelos, eles são, junto com outras representações visuais, recursos didáticos muito utilizados no ensino de conceitos científicos. Essas representações contribuem para a construção de conhecimento em Ciências (Evagorou et al., 2015). Dentre essas representações, os modelos são vistos como parte fundamental do raciocínio humano (Nersessian, 1999) sendo, por conseguinte, um importante recurso didático para apresentação e explicação consistente dos fenômenos físicos.

Dos vários elementos que utilizamos para a construção dos modelos, o raciocínio analógico é uma parte importante desse processo (Clement, 2008). As analogias podem também, além de serem fontes de ideias para a criação de modelos, serem tomadas como base para a sua construção, e isto irá configurar o que definiremos adiante como modelos analógicos, construídos a partir do estabelecimento de analogias e da representação desta com o objetivo de aprendizagem do sistema alvo inferido pela analogia.

Nesta pesquisa construímos um protótipo digital de um modelo analógico de um circuito elétrico (PRODMACE) para uso como recurso didático no ensino de conceitos básicos da Eletrodinâmica (CBE). Por meio do mapeamento estrutural do PRODMACE analisamos a consistência estrutural, o seu foco relacional, a sua sistematicidade, a similaridade semântica entre os elementos, atributos e relações colocadas em correspondência e a sua adequação pragmática, bem como investigamos as percepções de professores e potencialidades por estes levantadas quanto ao seu uso em práticas educativas na disciplinas de Física na Educação Profissional Técnica de Nível Médio (EPTNM).

1.2. Problema de pesquisa

A necessidade do uso de recursos didáticos que contribuam com o ensino e a aprendizagem de conceitos da Física é latente, e um tópico que representa grande desafio para muitos estudantes é

a compreensão dos CBE. Uma das razões para essas dificuldades de aprendizado é a intangibilidade das principais grandezas físicas e conceitos da Eletrodinâmica, como a diferença de potencial ou a corrente elétrica (Mulhall; Mckittrick; Gunstone, 2001). Todavia, promover o uso de modelos e analogias pode fornecer aos estudantes uma estrutura útil para melhor entender esses fenômenos físicos ou entidades que demandam alto grau de abstração para compreensão, sendo estes largamente reconhecidos como instrumentos mediadores (Gilbert; Justi, 2016), tendo um papel fundamental no ensino dos conceitos da Eletrodinâmica.

Portanto, o uso dos modelos, analogias e modelos analógicos pode ser uma importante estratégia didática para construção de conhecimentos sobre conceitos de difícil aprendizagem, como os CBE. Nesse sentido, elaboramos a seguinte questão de pesquisa: Considerando tanto aspectos estruturais, semânticos e pragmáticos, quanto as percepções de professores de Física, de que maneira o uso de um modelo analógico, fundamentado na comparação entre circuitos hidráulicos e elétricos e desenvolvido por meio de prototipagem digital, contribui para o ensino de conceitos básicos da Eletrodinâmica?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo geral

Investigar as potencialidades pedagógicas de um modelo analógico fundamentado na comparação entre circuitos hidráulicos e circuitos elétricos construído por prototipagem digital para uso no ensino de CBE.

1.3.2. Objetivos específicos

- Definir os elementos, atributos e relações pertinentes à construção de um PRODMACE para o ensino de CBE;
- Construir um PRODMACE de forma que as correspondências de similaridades levantadas estejam representadas nesse modelo;
- Investigar as percepções de professores da disciplina de Física na EPTNM quanto ao uso do PRODMACE no ensino de conceitos básicos da Eletrodinâmica
- Analisar os aspectos estruturais, semânticos e pragmáticos da analogia que fundamenta a construção do PRODMACE.

1.4. Apresentação do pesquisador e sua relação com o objeto da pesquisa

Apresento, de forma concisa, minha jornada acadêmica e profissional, a qual motiva meu engajamento nesta pesquisa científica centrada em práticas educativas que incorporam analogias, modelos, e o desenvolvimento de recursos didáticos para o Ensino de Física.

Sou professor de Física, licenciado pela UFMG (2007) e atuo como professor de no Ensino Médio, principalmente na Secretaria de Educação de Minas Gerais, desde 2007. Tive uma formação rígida e com pouco tempo para reflexões acadêmicas, situação comum aos alunos do ensino noturno e com jornada de estudo compartilhada com 8 horas diárias de trabalho.

Apesar de uma certa objetividade nos estudos da graduação, muitas vezes sem entusiasmo, com pouca dedicação e com excessiva preocupação com as notas, sempre dei muito valor para a importância do entendimento dos conceitos básicos da Física e a importância de um ensino ativo e interativo, que incentiva os estudantes à participação. Terminei a graduação, com o ímpeto de propor, em minhas aulas, um Ensino de Física com grande apelo conceitual, participativo e que dialogasse com conceitos prévios dos estudantes. Estimulado por esse interesse, ainda na graduação, participei do Simpósio Brasileiro de Ensino de Física, o SNEF 2007, apresentando o trabalho: “Desenvolvendo a abstração para as aulas de vibrações e ondas”. Era uma proposta de sequência didática, com enfoque na compreensão de modelos abstratos da ondulatória.

Entretanto, mesmo após ter colado grau com muita vontade de exercer a docência e com um desenvolvimento inicial de uma proposta que poderia resultar em um projeto de pós-graduação, por questões financeiras, não me dediquei a esse sonho. Comecei a lecionar logo após a colação de grau, contudo, esta não foi a minha principal atividade profissional até o ano de 2017. No período citado, atuei na área industrial, mais especificamente no setor de energia. Foi apenas em março de 2017, que, finalmente, resolvi me dedicar exclusivamente ao Ensino de Física para o Ensino Médio em escolas públicas. Contudo, apesar da lacuna mencionada, desde a minha saída da UFMG, eu sempre lecionei, mesmo que com poucas aulas, em escolas públicas e aulas particulares.

Em todos esses anos de serviço docente, sempre me esforcei na busca pela aprendizagem conceitual dos diferentes temas da Física, com uso de diversos recursos que pudessem mediar essa construção de significados. Todavia, essa busca ficava limitada ao ambiente escolar, seja em conversas com os colegas professores ou com os estudantes, seja em percepções e proposições individuais. Nunca foi uma ideia mais elaborada e com embasamento acadêmico.

Em 2019, após algumas leituras sobre metodologias e estratégias ativas, decidi que gostaria de, formalmente, começar a fazer pesquisas acadêmicas e me matriculei em um curso de pós-graduação Lato Sensu em Ensino de Física. Para concluir essa primeira pós-graduação

apresentei um TCC cujo título foi “Uma proposta para aplicação de metodologias ativas de ensino em aulas de Física do som para o Ensino Médio”. No trabalho propunha uma sequência de aulas para aplicação do método *Peer Instruction* em conjunto com o método *Just in Time Teaching*.

Após finalizar essa pós-graduação não pude avaliar na prática a sequência de aulas proposta, pois planejava sua implementação no ano de 2020, entretanto, o ensino remoto e tumultuado do período de pandemia do Covid-19 não permitiu a avaliação da sequência proposta.

No ano de 2020 iniciei outra pós-graduação Lato Sensu, em tecnologias aplicadas à sala de aula. Seguindo a mesma linha do TCC apresentado na primeira pós-graduação, o tema de estudo também foi as metodologias ativas aplicadas em aulas de Física, porém com enfoque nas tecnologias necessárias à implementação do método. O título deste TCC foi: “Uma proposta para aplicação de metodologias ativas de ensino e novas tecnologias em sala de aula”.

Dando sequência aos estudos, em 2021 fui admitido no Programa de Pós-Graduação em Educação Tecnológica do CEFET-MG, apresentando uma proposta de projeto de pesquisa para a linha IV: Práticas Educativas e Tecnologias Educacionais. Com o ingresso no Programa, tive a oportunidade de, em conversas com o meu Orientador, discutirmos sobre nossas áreas de atuação e pensamos em um tema de pesquisa que pudéssemos trabalhar o desenvolvimento conceitual da Física junto com o estudo de analogias e dos processos de modelagem. A partir dessas conversas e dos estudos das disciplinas iniciais do curso de mestrado, elaboramos o tema desta dissertação, seguindo assim o meu interesse em pesquisar estratégias e práticas educativas que estimulam o entendimento conceitual dos temas propostos pela Física na Educação Básica.

1.5. Campos em que a pesquisa se insere

A investigação proposta nesta pesquisa está inserida na interseção de três campos de estudo: o das Práticas educativas fundamentadas em analogias e modelos, o da Educação Profissional e Tecnológica e o do Ensino de Física. A Figura 1 apresenta os campos de estudo que esta pesquisa está inserida:

Figura 1 – Diagrama de interseção dos campos de estudo envolvidos na pesquisa.



Fonte: Figura elaborada pelo autor (2023).

No âmbito da Educação Profissional e Tecnológica, essa pesquisa investigou as percepções de professores da EPTNM sobre o potencial pedagógico de um modelo analógico e como as práticas educacionais com o uso de analogias e modelos podem ser desenvolvidas em sala de aula, e/ou quais as contribuições que essas práticas podem prover à EPTNM. No âmbito do Ensino de Física, a pesquisa está relacionada ao estudo e à investigação de recursos didáticos para o Ensino da Eletrodinâmica. Por fim as práticas educacionais com o uso de modelos e analogias se insere nesse contexto como artefatos cognitivos cuja finalidade é mediar a construção de conhecimentos sobre os CBE.

1.6. Justificativa

O ensino dos CBE demanda dos estudantes o desenvolvimento de uma alta capacidade de abstração de conceitos. Particularmente no caso da EPTNM, em cursos nos quais os estudantes têm que lidar com a aplicação desses conceitos em contextos mais práticos, como nos cursos de

Eletrotécnica, Eletrônica e Automação industrial, tal demanda pode ser ainda maior, ao menos sob uma perspectiva de um ensino conceitual e que estimule a autonomia, e que não seja meramente operacional.

Por isso é importante que seja utilizado, em ambientes de aprendizagem, recursos didáticos que estimulem o desenvolvimento do pensamento abstrato para a compreensão dos conceitos relacionados a fenômenos físicos a serem estudados nesse contexto. Esse é o motivo pelo qual os modelos e analogias são particularmente importantes para o Ensino de Circuitos Elétricos. O uso de modelos e analogias no Ensino de Ciências pode fornecer um caminho para que os estudantes ampliem a capacidade de compreensão de temas complexos, sendo ferramentas essenciais para uma descrição científica do mundo, permitindo uma certa visualização de fenômenos que não são diretamente perceptíveis pelos sentidos humanos (Clement, 2008).

Sobre as analogias, Duit (1991) aponta algumas vantagens do uso em sala de aula: i) são ferramentas poderosas na aprendizagem, pois abrem novas perspectivas; ii) podem facilitar a compreensão e permitir o reconhecimento de similaridades com o mundo real; iii) podem fornecer visualização de entidades descritas cientificamente; iv) podem provocar o interesse dos alunos, motivando-os; v) levam o professor a considerar o conhecimento prévio dos alunos.

Os modelos, por sua vez, são importantes tanto no desenvolvimento da Física quanto no Ensino de Física, e para este último, devemos ressaltar o seu valor epistêmico. Os educadores geralmente assumem que os modelos da Física teórica também funcionarão bem como modelos de ensino e, para muitos tópicos, essa suposição não é problemática e, em muitos casos, produtiva (Tejinder, 2017). No entanto, no caso de modelos altamente complexos, o trabalho com modelos que se utilizam de comparações com outros domínios pode se revelar apropriado para o desenvolvimento cognitivo discente. Outro aspecto importante, é que essas comparações podem, por meio da visualização e pelo apontamento de algumas características dos elementos presentes, auxiliar os estudantes a ter uma maior compreensão dos domínios envolvidos.

Contudo, na literatura nacional, ainda são poucos os trabalhos sobre o uso de modelos e analogias no Ensino de Física, menos ainda é encontrado no caso específico da analogia entre os circuitos hidráulico e elétrico ou sobre modelos analógicos. Trabalhos como os de Bozelli (2005 e 2010) trazem aspectos gerais sobre como as analogias e metáforas são utilizadas nas aulas de Física, e o que professores e estudantes pensam sobre o uso dessas ferramentas em sala de aula, fazendo uma reflexão sobre o discurso do professor e investigando o processo de mobilização de saberes envolvendo a aplicação de analogias e seu potencial como recurso didático.

Há também estudos, como o de Silva e Martins (2010) e Kopp e Almeida (2019), que trazem uma análise das analogias encontradas em livros didáticos de Física, quantificando-as e classificando-as.

Outros trabalhos, como o de Goulart (2008), Eyng (2011) e Cruz-Hastenreiter (2015), trazem análises sobre quais analogias são utilizadas no ensino de conteúdos específicos, como eletrostática, campos eletromagnéticos e Física quântica. Este último autor fez uma pesquisa bibliográfica sobre o uso de analogias em atividades didáticas voltadas para o Ensino de Física. Esse levantamento foi realizado buscando artigos publicados entre os anos de 1990 e 2012, retornando apenas 33 artigos relacionados.

Dito isso, esta pesquisa se justifica por sua contribuição para o ensino de CBE com uso de práticas educativas baseadas em modelos e analogias. O estudo visa desenvolver um modelo analógico fundamentado na comparação entre circuitos hidráulicos e elétricos, e investigar o seu potencial pedagógico a partir das percepções de professores sobre o uso desse modelo e do mapeamento estrutural das analogias presentes no modelo. Espera-se que os resultados da pesquisa contribuam para o desenvolvimento de recursos didáticos relevantes para o Ensino de Eletrodinâmica. Além disso, o presente trabalho se justifica por ser um trabalho que irá abordar um tema pouco investigado na literatura nacional, entretanto, de grande valor e reconhecidamente importante na para o Ensino de Física.

1.7. Panorama da dissertação

Esta dissertação foi dividida em seis capítulos. Neste primeiro capítulo, apresentamos a proposta da investigação, o problema que norteou o desenvolvimento desta pesquisa, bem como os objetivos geral e específicos, apresentação do pesquisador e sua relação com o objeto da pesquisa, os campos em que a pesquisa se insere e a justificativa para a realização deste trabalho.

O segundo capítulo é dedicado à revisão sistemática de literatura, em que procedemos com uma busca em bases de dados nacionais e internacionais, norteadas pelas seguintes questões: (i) Circuitos elétricos é um componente curricular relevante nos estudos publicados sobre o uso de analogias no Ensino de Física? (ii) Entre os trabalhos que analisam o uso de analogias no Ensino de Física, a analogia entre os circuitos hidráulico e elétrico é frequentemente citada? Para a realização da revisão sistemática de literatura realizada no âmbito educacional, foi empregado o modelo de investigação proposto por Ramos, Faria e Faria (2014), sendo estabelecido métodos explícitos e reproduzíveis dos critérios de busca.

No capítulo três, abordamos nosso referencial teórico. A Teoria da Ação Mediada de James Wertsch (1991), com origens intelectuais nas ideias de Vygotsky, foi apresentada e discutido como a ação humana é moldada pela relação entre os sujeitos, agentes ativos, e as ferramentas culturais ou os meios mediacionais, que estão ao seu alcance naquele determinado momento histórico. No campo do estudo das analogias usamos como referência principal a Teoria do Mapeamento Estrutural (TME), de Gentner (1983). Outro importante trabalho utilizado como referência nesse campo foi a Teoria das Múltiplas Restrições (TMR) de Holyoak e Thagard (1989), que, junto com os estudos de Gentner e Markman (1997), delimitaram as comparações consideradas como analógicas.

Para os estudos relacionados à definição de modelos adotamos o referencial que considera os modelos como artefatos epistêmicos, desenvolvido por Knuuttila (2005). Além desse importante referencial outros estudos, sobre o uso de modelos nas práticas educacionais, também foram utilizados como os de Justi e Gilbert (2002), Justi (2006) e Gilbert e Justi (2016). Apresentamos também referenciais como Almeida, Almeida e Ferry (2018), Mozzer e Justi (2018) e Silva e Mozer (2015) que basearam a nossa definição sobre os modelos analógicos e finalizamos o capítulo apresentando nossa unidade de análise.

O capítulo quatro traz, detalhadamente, os procedimentos metodológicos utilizados durante a investigação. Nele é possível que o leitor compreenda todo o processo de prototipagem digital do modelo analógico, e ainda a metodologia empregada para o mapeamento estrutural do modelo, bem como a metodologia utilizada para a entrevista e a análise de dados gerados.

No quinto capítulo são apresentados uma análise qualitativa dos resultados e discussões da pesquisa. Além disso, também são apresentados fragmentos extraídos da transcrição das entrevistas semiestruturadas. Nessa quinta etapa de realização do projeto fizemos a análise de conteúdo dos dados das entrevistas com os professores, a análise dos dados extraídos do mapeamento estrutural do PRODMACE e inferências com os resultados gerados por essas duas análises.

Por fim, no sexto capítulo, apresentamos as considerações finais, na qual retomamos os objetivos e o problema de pesquisa a partir dos resultados obtidos na investigação e apontamos reflexões sobre possíveis pesquisas futuras.

2. REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA

Para a realização desta revisão adotamos a abordagem metodológica de revisão sistemática, que, em contraponto com revisões de literatura mais tradicionais (que muitas vezes são até criticadas por serem tendenciosas e arbitrárias), objetiva a realização de uma revisão baseada em critérios explícitos, o que a torna reproduzível e atualizável (Zawacki-richter *et al* 2020).

Para o procedimento de revisão, foi empregado o modelo de investigação proposto por Ramos, Faria e Faria (2014) para a realização de uma revisão sistemática de literatura realizada no âmbito educacional. Com base no proposto pelos autores, essa revisão será composta pelos seguintes subitens: (i) objetivos (ii) âmbito (iii) equações de pesquisa pela definição dos operadores booleanos;; (iv) critérios de inclusão; (v) critérios exclusão; (vi) critérios de validade metodológica; (vii) resultados; (viii) tratamento de dados.

Nos subitens descritos anteriormente, invertemos os itens (ii) e (iii) ao que foi proposto originalmente (na referência utilizada tínhamos o subitem (ii) como - equações de pesquisa pela definição dos operadores booleanos – e o subitem (iii) como – âmbito). Optamos por fazer essa inversão devido ao fato das opções de busca e definição das equações de pesquisa obedecerem a critérios diferentes de acordo com a base de dados em questão.

Dito isso, as etapas propostas para a revisão estão representadas na Figura 2.

Figura 2 – Etapas da revisão sistemática.



Fonte: Figura elaborada pelo autor (2022).

2.1. Objetivos

A revisão de literatura foi orientada pelas seguintes questões norteadoras: i) Circuitos elétricos é um componente curricular relevante nos estudos publicados sobre o uso de analogias no Ensino de Física? ii) Dentre os trabalhos que analisam o uso de analogias no Ensino de Física, a analogia entre os circuitos hidráulico e elétrico é frequentemente citada?

2.2. Âmbito

Utilizamos nesta revisão o acesso remoto ao conteúdo assinado do Portal de periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) disponível pelo login do CEFET-MG na Comunidade Acadêmica Federada (CAFE). Entre as bases de dados que o portal permite acesso, selecionamos a Scopus, a *Educational Resources Information Centre* (ERIC), a *Scientific Electronic Library Online* (SCIELO) e ainda a Biblioteca digital brasileira de teses e dissertações (BDTD), de acesso público irrestrito fora do portal da CAPES.

A Scopus é uma Base de Dados multidisciplinar da editora Elsevier, indexando títulos acadêmicos revisados por pares, títulos de acesso livre, anais de conferências, publicações comerciais, séries de livros, páginas web de conteúdo científico e patentes (Oliveira, 2017). Nesta pesquisa, essa Base de Dados foi selecionada por ser considerada um dos maiores banco de dados de resumos e citações da literatura revisada por pares. São mais de 20.800 periódicos revisados por pares (incluindo 2.600 periódicos de acesso aberto), 6,4 milhões de artigos de conferências, mais de 40.000 livros, bem como publicações comerciais e séries de livros. É um banco de dados multidisciplinar, incluindo Medicina, Ciência, Tecnologia, Ciências Sociais, Artes e Humanidades (Chadegani, *et al.*, 2020).

A ERIC é uma biblioteca digital online de pesquisa e informação em Educação patrocinada pelo Instituto de Ciências da Educação do Departamento de Educação dos Estados Unidos. Ele fornece acesso fácil à literatura educacional para apoiar o uso de pesquisas e informações educacionais para melhorar a prática de aprendizagem, ensino, educação, tomada de decisão e pesquisa (UNESCO, 2022, Online). A Base de Dados ERIC reúne mais de 1.000 títulos, com disponibilidade de acesso de 1966 até o presente.

A Base de Dados SCIELO foi selecionada por permitir acesso a periódicos do Brasil, do Caribe e da América Latina, sendo que muitos desses periódicos não estão disponíveis nas outras Bases de Dados.

E, por último, a base de dados BDTD que dá acesso aos textos completos das teses e dissertações defendidas nas instituições brasileiras de ensino e pesquisa. Incluímos a BDTD no

escopo da nossa revisão devido ao fato de não termos encontrado um número grande de estudos nacionais sobre analogias no Ensino de Física nas bases de dados SICELO. O acesso a essa produção científica é livre e não precisou ser feito através do portal da CAPES.

2.3. Equações de busca

Devido às diferentes opções de busca em cada uma das bases de dados utilizadas para esta revisão, utilizamos expressões booleanas e filtros distintos para cada uma das fontes de materiais acadêmicos. Para atender o objeto da busca foi elaborado equações de busca para encontrar estudos que dialogassem com o objetivo proposto da revisão, ou seja, pesquisamos por trabalhos sobre o emprego de analogias no Ensino de Física. Para isso, relacionamos derivações das palavras analogia, acrescido de palavras que remetem a ensino (ensino, aprendizagem, sala de aula e didático) junto com a palavra “Física”. O operador booleano AND foi utilizado para juntar esses três conceitos, e o operador OR foi utilizado para que qualquer uma das palavras escolhidas referentes ao ensino fosse aceita na busca. Foi delimitado ainda, em todas as bases de dados pesquisadas, buscas entre os anos de 2002 e 2023. Todas as buscas aqui descritas foram realizadas entre os dias 19/04/2023 e 06/05/2023.

2.3.1. Busca na base Scopus

Na base de dados Scopus, cuja busca foi feita em inglês, a seguinte equação de busca foi aplicada: ***Title – abs – key (analog* AND (teaching OR learning OR schoolbooks) AND physics) limit to (subj AREA “soci”)***. Os termos *Title – abs – Key*, indicam que a busca foi realizada pelas palavras contidas no título (*title*), no resumo (*abstract*) ou nas palavras-chave (*keywords*) dos textos. O termo *analog** indica o uso do caractere de truncamento à expressão *analog*. Dessa forma recupera-se outras terminações após o truncamento, como *analogue*, *analogy*, *analogies* e *analogical*. As palavras *teaching* (ensino), *learning* (aprendizagem) e *schoolbooks* (livros didáticos) foram escolhidas para serem referência à ensino, e qualquer uma delas poderiam aparecer no texto. A palavra *physics* (física), pois o interesse desta revisão é apenas em estudos em Ensino de Física. Por último o filtro – *subj. AREA “soci”* – foi aplicado para limitar a busca em estudos na área das ciências sociais.

O resultado dessa busca retornou 128 artigos, sendo realizada a leitura flutuante de todos os resumos desses artigos e, por fim, selecionamos 45 artigos que apresentavam uma análise do emprego de analogias no Ensino de Física.

2.3.2. Busca na base ERIC

A busca na base de dados ERIC também foi feita em inglês, e a seguinte equação de busca foi aplicada: (analogy OR analogical OR analogies OR analogue) AND (teaching OR learning OR schoolbooks) AND physics – descriptor: science instruction. Como não foi possível adicionar o caractere de truncamento (*) para realizar a busca, optamos por colocar os termos analogy, analogical, analogies e analogue na equação de busca intercalado com o operador OR, indicando que qualquer uma dessas palavras podia estar presente. O descritor Science instruction também foi adicionado para podermos limitar a busca ao ambiente de ensino. As expressões relativas ao Ensino de Física foram as mesmas utilizadas na pesquisa da Scopus.

Como resultado, obtivemos 93 arquivos, sendo realizada a leitura flutuante de todos os resumos destes artigos e, por fim, selecionamos 32 artigos que traziam uma análise do emprego de analogias no Ensino de Física. Vale ressaltar, entretanto, que desses 32 artigos, 25 estão em redundância à busca realizada na base Scopus, portanto esta busca na base ERIC resultou em 7 artigos inéditos selecionados.

2.3.3. Busca na base Scielo Brasil

Na base de dados SCIELO BRASIL aplicamos a equação de busca: ***(ab:(analog* AND (didatic* OR Ensino OR aula) AND física))***. O termo ab: (*abstract*), indica que a busca foi realizada pelas palavras contidas no resumo, os demais termos da equação já foram justificados anteriormente. Contudo, essa busca resultou em apenas 16 artigos, por isso retiramos a limitação de busca apenas no resumo e a nova equação de busca foi ***analog* AND (didatic* OR Ensino OR aula) AND física***. Como resultado obtivemos 71 arquivos, sendo realizada a leitura flutuante de todos os resumos destes artigos para, então, selecionar 9 artigos.

2.3.4. Busca na base BDTD

Na base de dados BDTD aplicamos a equação de busca: ***(Resumo Português: analog* AND (didatic* OR ensino OR aula) AND física)***. O termo Resumo Português: indicam que a busca foi realizada pelas palavras contidas no resumo, os demais termos da equação já foram justificados anteriormente. Como resultado obtivemos 102 arquivos, sendo realizado a leitura flutuante de todos os resumos destes artigos para, então, selecionar 13 artigos.

2.4. Critérios de inclusão / exclusão e validação metodológica

2.4.1. Critérios de inclusão/exclusão dos artigos

Após a leitura flutuante dos resumos dos trabalhos filtrados pelas equações de busca descritas nas seções anteriores, utilizamos como critério de seleção de artigos os que tratavam do tema de uso de analogias especificamente em contextos de Ensino de Física. Muitos artigos filtrados pela equação de busca traziam o uso de analogias em um contexto de discussão de teorias, além do uso de analogias em contextos mais amplos, analisando aspectos da psicologia cognitiva e o seu papel na construção dos saberes científicos. Foram selecionados adicionalmente alguns artigos que abordavam o emprego de analogias no Ensino de Ciências.

Outro fator de seleção dos artigos foi a disponibilidade de download completo dos arquivos, pois apesar de estarmos utilizando o acesso da CAPES, as bases de dados SCOPUS e ERIC podem direcionar o link para outra base de dados, e esta, por sua vez deveria estar no cadastro de acesso da CAPES ou ter conteúdo aberto, caso contrário não é permitido o download completo do arquivo para a leitura. Este foi o caso de arquivos contidos na base de dados *American Association of Physics Teachers* (AAPT) que continham 9 artigos selecionados após a leitura do resumo, mas que não foi possível lê-los completamente.

2.4.2. Validação metodológica

Todas as buscas realizadas foram refeitas para verificar a obtenção de retorno de um número idêntico de artigos ao utilizar as mesmas equações nas respectivas bases selecionadas. Após a leitura flutuante dos resumos e seleção dos artigos de acordo com os critérios de inclusão e de exclusão, testamos várias outras equações de busca com o intuito de analisar se não haveria equações mais adequadas, que retornariam mais precisamente os artigos desejados. Contudo, consideramos que as equações utilizadas, apesar de resultar em um número considerável de artigos que não passaram pelo critério de inclusão, elas retornaram artigos importantes que outras equações mais restritivas não conseguiram trazer.

2.5. Resultados

A Tabela 1 apresenta as equações de busca utilizadas em cada uma das bases de dados e os resultados obtidos e o quantitativo de artigos selecionados após estes serem submetidos aos critérios de inclusão / exclusão.

Tabela 1 – Resultado das buscas nas bases de dados.

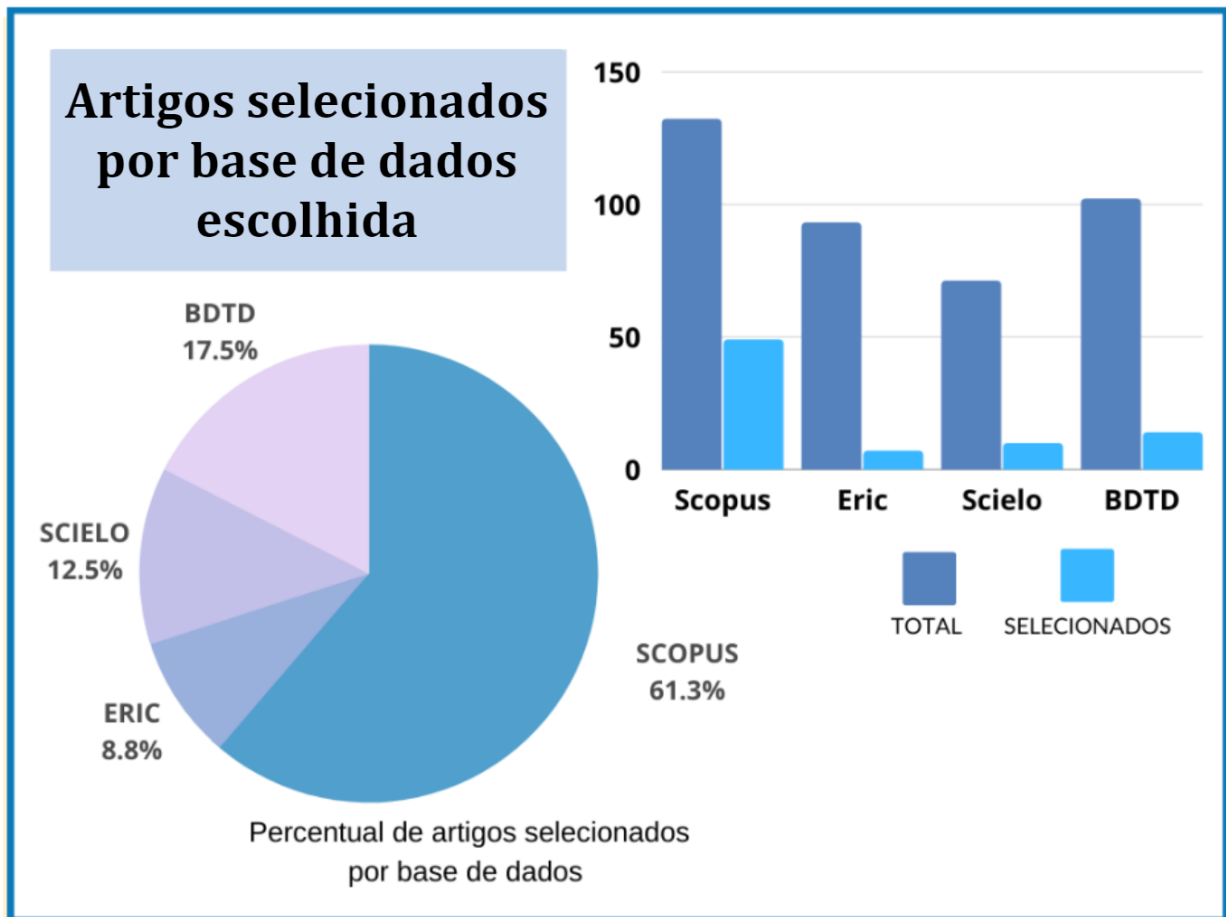
RESULTADOS DAS BUSCAS NAS BASES SELECIONADAS				
	SCOPUS	ERIC	SCIELO	BDTD
EQUAÇÃO DE BUSCA	Title – abs – key (analog* AND (teaching OR learning OR schoolbooks) AND physics) limit to (subj AREA "soci")	(analogyOR analogical OR analogies OR analogue) AND (teaching OR learning OR schoolbooks) AND physics – descriptor: science instruction	analog* AND (didatic* OR Ensino OR aula) AND física	(Resumo Português: analog* AND (didatic* OR ensino OR aula) AND física)
RESULTADOS	128	93	71	102
SELECIONADOS	45	7 *	9	13
TOTAL DE RESULTADOS	394			
TOTAL DE SELECIONADOS	74			

- Selecionamos 32 artigos da base ERIC, entretanto, 25 estão em redundância à busca realizada na base SCOPUS, portanto esta busca na base ERIC resultou em 7 artigos inéditos selecionados.

Fonte: Quadro elaborado pelo autor (2022).

A Figura 3 a seguir, composta por 2 gráficos, apresenta a relação entre o resultado total de artigos obtidos em cada uma das bases de dados e a relação percentual de artigos selecionados entre estas bases.

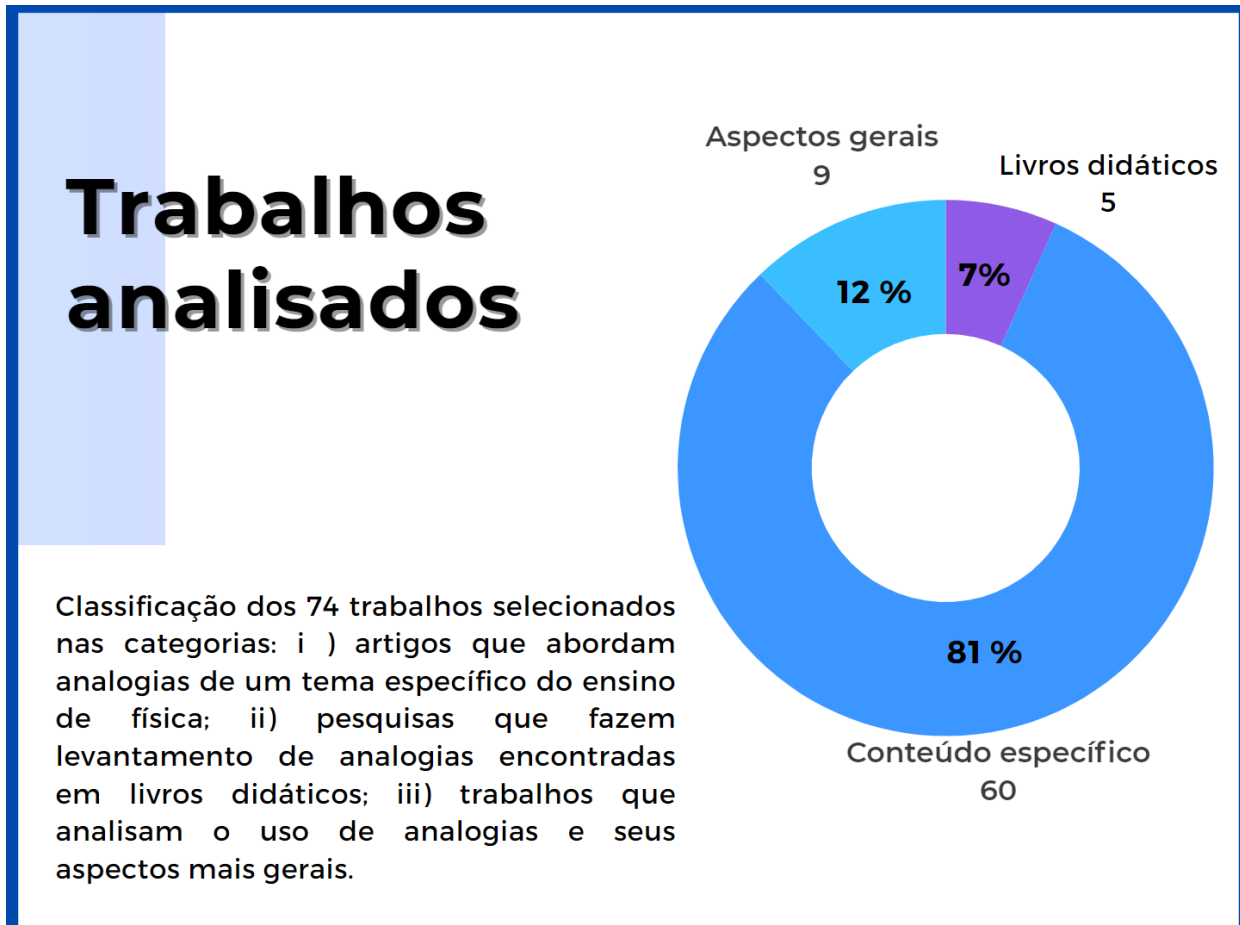
Figura 3 – Relação de artigos selecionados por base de dados.



Fonte: Figura elaborada pelo autor (2022).

Após a seleção dos 74 artigos pelos critérios apresentados, fizemos, novamente, a leitura flutuante destes, classificando-os em 3 categorias: i) artigos que abordam analogias de um tema específico do Ensino de Física; ii) pesquisas que fazem levantamento de analogias encontradas em livros didáticos; iii) trabalhos que não especificam nenhum tema em particular, analisando o uso de analogias e seus aspectos mais gerais como o tipo de linguagem utilizada na formulação das analogias, a importância das analogias para o desenvolvimento cognitivo, processos de formulação analógica discente, entre outros aspectos analisados e aplicados no Ensino de Física. A quantificação dos trabalhos em cada uma dessas 3 categorias é apresentada na Figura 4.

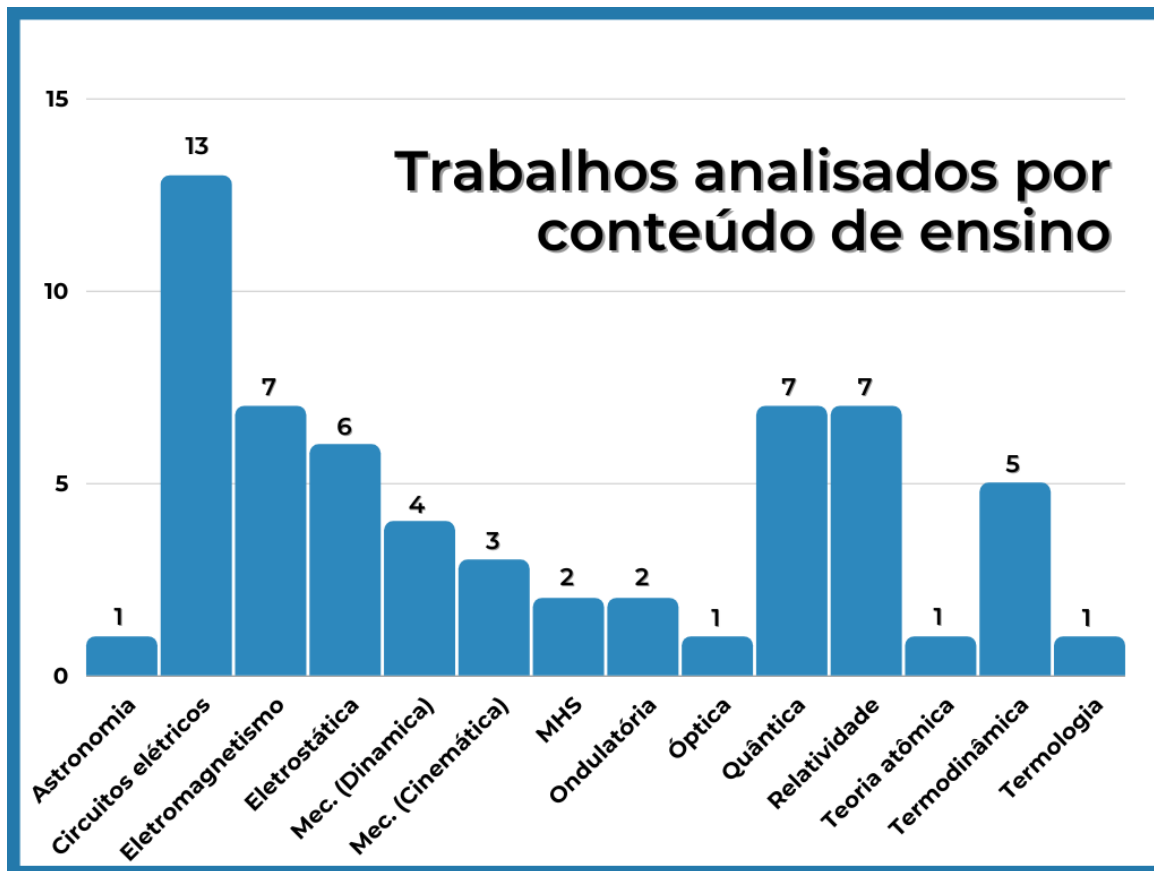
Figura 4 – Classificação dos artigos selecionados.



Fonte: Figura elaborada pelo autor (2022).

Das categorias classificadas fizemos a leitura integral dos artigos das categorias ii e iii, buscando quaisquer aspectos relevantes apontados pelos pesquisadores quanto às analogias utilizados para o ensino de conceitos da Eletrodinâmica. Já em relação à categoria, selecionamos para a leitura integral apenas os 13 artigos que tratavam especificamente de analogias para o tema de circuitos elétricos. A Figura 5 apresenta o número de artigos categorizados por conteúdo de ensino. Na seção a seguir analisaremos os dados encontrados nos 27 artigos que foram feitos a leitura integral do conteúdo.

Figura 5 – Trabalhos analisados por conteúdo de ensino.



Fonte: Gráfico elaborado pelo autor (2022).

Na seção subsequente apresentamos o tratamento dos dados representados nas figuras anteriores, mas com o que foi detalhado nessa última figura (5), já se pode compreender a importância que as analogias desempenham no estudo da Eletrodinâmica, haja visto o número de trabalhos analisados sobre o tema ser quase o dobro dos temas que também tiveram grande número de estudos, como Eletromagnetismo, Quântica e Relatividade.

2.6. Tratamento de Dados

A análise que aqui será apresentada pretende responder às questões norteadoras desta revisão sistemática de literatura: i. Circuitos elétricos é um componente curricular relevante nos estudos publicados sobre o uso de analogias no Ensino de Física? ii. Dentre os trabalhos que analisam o uso de analogias no Ensino de Física, a analogia entre os circuitos hidráulico e elétrico é frequentemente citada?

No escopo de artigos analisados classificados nas categorias ii e iii, vários estudos (Silva, 2016; Zambon; Terrazzan, 2013; Zambon; PiccinI; Terrazan, 2009; Silva; Martins, 2010; Yener, 2012; Jonãne, 2015; Toma; Rahman, 2021), fazem uma análise qualitativa descritiva de analogias

encontradas em livros didáticos e em práticas docentes de acordo com a classificação proposta por Curtis e Reigeluth (1984) e/ou Thiele e Treagust (1994). Com o uso dessa classificação os autores apontam e analisam o número de analogias encontradas de acordo com o as relações entre os domínios, a forma de apresentação, nível de enriquecimento, entre outros aspectos. Nessas investigações, portanto, não é explicitado quais foram as analogias analisadas ou quais eram os conteúdos do Ensino de Física abordados pelas analogias. Essa informação poderia contribuir com a resposta das questões desta revisão sistemática.

Contudo, ainda assim conseguimos constatar, em algumas das pesquisas citadas, a relevância do uso de analogias no Ensino da Eletrodinâmica e/ou que a analogia entre circuitos hidráulico e elétrico é bastante comum. Silva (2016) relata que, dos artigos analisados, a quantidade mais expressiva de trabalhos sobre o uso de analogias é dedicada a assuntos da Eletrodinâmica, citando ainda a importância do análogo hidráulico. A análise feita por Zambon, Picini e Terrazzan (2009), mostra que das analogias encontradas nos livros de Física utilizados na pesquisa, 33% são analogias sobre eletromagnetismo, não especificando, entretanto, o amplo espectro do que eles consideraram a área de eletromagnetismo. Porém, esses autores afirmam que, no tópico de eletromagnetismo, as analogias mais encontradas foram as comparações entre campo elétrico e gravitacional e corrente elétrica e fluxo de água. No artigo escrito por Silva e Martins (2010), as autoras expõem vários exemplos de analogias encontradas em 12 livros de Física do Plano Nacional do Livro Didático (PNLD) 2008. Dos exemplos citados está a analogia entre corrente elétrica e água corrente, em que o circuito hidráulico e elétrico tem características físicas semelhantes e funções similares. Em outro exemplo, eles comparam o funcionamento de uma bateria ao funcionamento de uma bomba hidráulica.

No trabalho de Yener (2012), dos 4 livros analisados, foram encontradas 50 analogias, e dos 6 exemplos descritos no artigo, 2 eram sobre a comparação entre os circuitos elétricos e hidráulicos. Em um desses exemplos, podemos constatar uma clássica comparação entre esses domínios:

Assim que a torneira é aberta entre os recipientes, a água flui diretamente do recipiente onde o nível de água é alto para aquele com menos água. Este fluxo continuará até que os níveis de água nos dois recipientes sejam equalizados. A razão para o fluxo de água é devido à diferença no nível de água dos recipientes. Se o nível de água for o mesmo, não há fluxo de água... Então deve haver uma diferença entre os níveis de água que seja semelhante à que existe entre os polos da bateria? A diferença nos níveis de água pode ser comparada à diferença de potencial entre os polos da bateria, fazendo com que o movimento dos elétrons comece nos circuitos elétricos? Essa diferença entre os polos da bateria é uma diferença de potencial elétrico, e é definida como tensão. A corrente continuará a passar pelo circuito até que essa diferença seja redefinida. Se não houver diferença de potencial entre os

polos da bateria, a corrente não passa do circuito elétrico (Yener, 2012, p.8, tradução nossa).

Por fim, no trabalho de Toma e Rahman (2021), das 9 analogias que os autores observaram em sala de aula, 3 eram sobre Eletrodinâmica, sendo que uma delas tinha um circuito hidráulico como domínio base, utilizado na explicação da definição de corrente elétrica.

Conforme a Figura 4, de acordo com os conteúdos de Ensino de Física considerados, de um total de 60 artigos classificados nesta categoria, 13 abordavam analogias empregadas no contexto do ensino de conceitos de circuitos elétricos. Essa quantidade de artigos que abordam o assunto da Eletrodinâmica é bem expressiva, visto que foram listados um total de 14 diferentes conteúdos de ensino e que os estudos sobre as analogias no Ensino de Circuitos Elétricos foi o que apresentou um maior número de estudos - quase o dobro dos próximos conteúdos de ensino com mais estudos, Quântica, Relatividade e eletromagnetismo, cada um desses com 7 artigos. Por conseguinte, os dados apresentados na Figura 4 nos fornece uma boa indicação da importância que os circuitos elétricos têm no contexto do Ensino de Física mediado por analogias. Em termos percentuais, 22% das pesquisas dessa revisão sistemática que trazem estudos sobre analogias aplicadas em um conteúdo específico do Ensino de Física são sobre os circuitos elétricos.

Na análise detalhada dos treze artigos selecionados, investigou-se a prevalência do emprego da analogia entre circuitos hidráulicos e elétricos. Dentre os estudos analisados, apenas quatro não mencionam essa analogia específica: Miranda (2010), Mulhall, McKittrick e Gunstone (2009), Çibik e Yalçın (2011) e Hermita (2017). Em contraste, Hart (2017) menciona a analogia hidráulica unicamente para questionar sua eficácia, argumentando que analogias baseadas no modelo de transporte de elétrons, como a hidráulica e a da corrente em uma bicicleta, deveriam ceder lugar a analogias fundamentadas no modelo de campo. Contudo, a autora reconhece que, na fase introdutória do ensino, o modelo de transporte pode ser benéfico, embora saliente que a analogia da corrente de bicicleta seja preferível devido à interpretação equivocada por parte dos estudantes de que a pressão hidráulica impulsiona o fluxo de água.

Focando na investigação das causas subjacentes à persistência de concepções equivocadas sobre Eletrodinâmica entre os estudantes, Mulhall, McKittrick e Gunstone (2001) identificam a analogia hidráulica como uma das mais recorrentes. Eles observam que, apesar das críticas frequentes, essa analogia pode ser eficaz ao alinhar-se com a noção errônea comum entre estudantes de que a corrente elétrica é um resultado direto da diferença de potencial.

Adicionalmente, em estudos focados na análise de analogias distintas daquelas envolvendo circuitos hidráulicos, como os de Hachmi et al. (2021) e Burde, Weatherby e Kronenberger (2021),

ressalta-se que, embora o análogo hidráulico seja considerado apropriado e estruturalmente coerente, observa-se que uma parcela dos alunos encontra dificuldades em compreender que é a diferença de pressão que impulsiona o fluxo de água no sistema. Em virtude dessas dificuldades, os autores desses estudos preferem adotar analogias alternativas, como a da corrente de uma bicicleta e uma simulação lúdica em que os estudantes se movimentam num ambiente de playground, para facilitar a compreensão dos conceitos envolvidos.

Os trabalhos remanescentes nesta categoria, especificamente os de Schubatzky, Rosenberger e Haagen-Schützenhöfer (2019), Hong (2010), Ugur et al. (2012), Bobowski (2020) e Greenslade Jr. (2003), empreendem uma análise detalhada da implementação da analogia entre circuitos elétricos e hidráulicos em contextos educacionais. Essas investigações cobrem uma gama diversificada de perspectivas, examinando, por exemplo, quais grandezas físicas podem ser efetivamente correlacionadas por meio da analogia, se a utilização dessa analogia resulta em diferenças significativas no aprendizado conceitual entre estudantes que foram expostos a ela comparados aos de um grupo controle, além de oferecer um panorama histórico sobre a evolução de diversas analogias envolvendo sistemas hidráulicos. Este conjunto de estudos contribui para uma compreensão mais aprofundada sobre a eficácia pedagógica e as limitações da analogia hidráulica como ferramenta didática no ensino de conceitos fundamentais da Eletrodinâmica.

2.7. Conclusão da Revisão Sistemática

Esta revisão sistemática da literatura revelou que a Eletrodinâmica, também conhecida como o estudo de Circuitos Elétricos, representa um dos domínios mais investigados dentro do currículo de Ensino de Física, especialmente no que se refere ao emprego de analogias em práticas educativas. Tais estudos acadêmicos destacam uma incidência significativa de analogias neste tópico de ensino, tanto em materiais didáticos quanto na prática docente cotidiana.

Dentre as diversas analogias empregadas no Ensino de Eletrodinâmica, a comparação entre circuitos hidráulicos e elétricos sobressai como uma das mais prevalentes, encontrada não apenas nas pesquisas acadêmicas, mas também integrada nos livros didáticos e aplicada diretamente por professores. Entretanto, as pesquisas indicam que, ao utilizar a analogia hidráulica em sala de aula, é essencial que haja uma atenção particular à correta compreensão dos conceitos fundamentais do domínio base. É um achado recorrente nos estudos que os alunos enfrentam dificuldades no entendimento de aspectos-chave dos circuitos hidráulicos, como o fato de que o fluxo de água é impulsionado pela diferença de pressão hidráulica no sistema.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

A investigação realizada nesta pesquisa parte do pressuposto que o estabelecimento de comparações analógicas fazem parte da cognição humana e se constituem como um recurso didático que pode auxiliar na compreensão de novos conceitos e ideias a partir de uma conexão feita com as similaridades existentes entre algo que se tenha conhecimento prévio e que apresente estruturas semelhantes. Em relação aos estudos sobre analogias, utilizamos como principal referencial teórico desta pesquisa a Teoria de Mapeamento de Estruturas (TME; Gentner, 1983). Segundo essa teoria a comparação analógica envolve um processo de estabelecer uma alinhamento estrutural entre duas situações representadas. As similaridades e diferenças entre o domínios relacionados são encontradas ao realizar um alinhamento estrutural consistente entre eles (Gentner; Markman, 1997; Gentner, 1983).

Outro aspecto importante no desenvolvimento desta pesquisa são as práticas de ensino com uso de recursos de modelagem de entidades científicas. Nesse contexto, o principal referencial teórico adotado é a concepção de modelos como artefatos epistêmicos (Knuuttila, 2005). De acordo com a autora, entender os modelos além de suas funções representativas, considerando-os como artefatos, amplia sua utilidade no suporte à nossa imaginação sobre possíveis configurações e interações entre diferentes elementos. Isso permite uma abordagem mais criativa na representação, que abrange objetos, processos e ideias, realçando a capacidade dos modelos de facilitar o raciocínio abstrato e a compreensão conceitual em vez de atuarem somente como duplicatas da realidade.

Essas ferramentas - analogias, modelos e modelos analógicos - são recursos utilizados para mediar a ação humana intencional que, em um ambiente escolar, visa auxiliar a construção de significados de conceitos científicos. Nessa perspectiva, adotamos a Teoria da Ação Mediada, de Wertsch (1991), como outro referencial teórico complementar na construção de nossa unidade de análise, pois o modelo analógico prototipado neste estudo pode ser concebido e compreendido como uma ferramenta cultural utilizada para mediar a ação de um professor na tarefa de ensinar conceitos básicos da Eletrodinâmica.

Além disso, abrimos a fundamentação teórica explorando estudos que justificam o uso de práticas educativas com uso de analogias e modelos no contexto do Ensino de Física e da Educação Profissional e Tecnológica. Discorreremos a seguir sobre essas teorias e teóricos, recorrendo, também, a outros autores, buscando um suporte consistente às discussões apresentadas, na seção correspondente, sobre a construção e avaliação do PRODMACE.

3.1. O Ensino de Física e o emprego de Modelos e Analogias

A Física na Educação Básica enfrenta uma série de obstáculos significativos no processo de ensino e aprendizagem. Muitos estudantes enfrentam dificuldades ao tentar compreender conceitos fundamentais da Física, tais como termodinâmica, energia e eletricidade (Duit; Treagust, 2003). Na prática, de forma geral, observa-se que a abordagem dos conteúdos ainda segue um modelo tradicional de ensino, caracterizado pela simples transmissão de informações visando a memorização de fórmulas, conceitos e equações. Essa abordagem tende a ser sem contexto e fragmentada, dificultando que o estudante atribua significado ao conhecimento científico apresentado.

Consequentemente, torna-se um desafio para os estudantes assimilar os conceitos trabalhados devido ao volume de informações abstratas e complexas, como a compreensão dos níveis macro e microscópico das entidades de interesse, bem como a necessidade de dominar uma linguagem específica relacionada às simbologias e nomenclaturas (Clement, 2008). Por isso, uma abordagem que destaque a relevância da Física como uma disciplina científica mas com larga aplicação na vida real é considerada apropriada, pois, segundo essa perspectiva, a compreensão do conhecimento científico pode ocorrer por meio de experiências práticas e reflexões cognitivas embasadas no entendimento da Física como ciência e sua relação com o mundo real (Bryce; MacMillan, 2005).

A abordagem tradicional de Ensino de Física, que muitas vezes se baseia em aulas expositivas e enfatiza a memorização de fórmulas, demonstrou ser inadequada para promover uma compreensão profunda e duradoura dos conceitos físicos (Moodley; Gaigher, 2019). Além disso, a falta de contextualização dos conteúdos pode contribuir para a percepção dos estudantes de que a disciplina é desinteressante e irrelevante para suas vidas. Diante desse cenário, é essencial adotar estratégias de ensino mais dinâmicas e contextualizadas, que permitam aos estudantes construir significados a partir de experiências práticas e situações do mundo real (Bryce; MacMillan, 2005).

Para que o entendimento dos conceitos da Física seja construído, pelo próprio estudante, substituindo a antiga concepção alternativa, é importante fazer a exploração e explicação da concepção científica, envolvendo os estudantes diretamente (Clement, 2008). Assim, os modelos e analogias podem ser utilizados no Ensino de Física de forma a trabalhar com a visualização de entidades físicas ou representações destas, e, também, para acessar o conhecimento prévio dos estudantes de forma que eles consigam construir essa substituição conceitual.

O uso de modelos e analogias no Ensino de Física pode fornecer aos estudantes representações concretas e familiares de conceitos muito abstratos e complexos (Clement, 2008). Os

modelos e analogias permitem aos estudantes visualizar e compreender fenômenos físicos complexos de uma maneira mais acessível e intuitiva (Johsua; Dupin, 1993). Por exemplo, fazer uma comparação analógica com um circuito hidráulico pode ilustrar conceitos de corrente elétrica, tensão e resistência em circuitos elétricos, facilitando a compreensão dos estudantes sobre esses princípios. Podemos, mais especificamente, comparar o fluxo de água em um cano com o fluxo de elétrons em um fio, ajudando os estudantes a relacionar conceitos abstratos com experiências familiares do mundo real.

Entre os temas trabalhados comumente na Física da Educação Básica, a Eletrodinâmica, como vimos na seção anterior, é um assunto de grande interesse acadêmico quanto ao estudo de formas de ensino desse tópico. Um aspecto importante é que a compreensão dos conceitos básicos de circuitos elétricos, Mulhall, Mckittrick e Gunstone (2008) destacam que sobre o ensino desse tópico, antes mesmo de qualquer experiência formal de aprendizagem, ele é fortemente influenciado pelo uso cotidiano de palavras como “potência”, “fluxo” e “voltagem”, gerando assim grande conflito com os conceitos formais empregados na Física. Assim, é comum os estudantes manterem concepções alternativas sobre os conceitos da Eletrodinâmica, mesmo tendo, por vezes, desenvolvido habilidades matemáticas para a resolução de problemas envolvendo conhecimentos da eletricidade.

Em um trabalho anterior, Mulhall, Mckittrick e Gunstone (2001) argumentam que existem duas razões principais pelas quais os circuitos elétricos é um tópico no qual pesquisas relatam preocupação com as concepções alternativas discentes: (i) a Eletrodinâmica é, de alguma forma, vista como uma área central dos currículos de Física/ciência em todos os níveis de ensino, primário, secundário e superior; (ii) os conceitos da Eletrodinâmica tem grande complexidade e necessitam que os alunos façam esforços associativos com outras áreas da Física para a sua compreensão.

No domínio da eletricidade, nenhum mecanismo ativo pode ser visto, apenas efeitos, então pode ser bastante construtivo propor o raciocínio com analogias tiradas de campos mais familiares - seja da própria Física, como as analogias com os conceitos da Mecânica, seja com domínios do cotidiano. Por exemplo, como mencionado por Mulhall, Mckittrick e Gunstone (2008), os modelos hidráulicos utilizados para o Ensino da Eletrodinâmica, lidam com o tipo de fluido com o qual os alunos têm alguma experiência direta e que são úteis para ilustrar o comportamento interno de circuitos elétricos.

3.2. Educação Profissional e Técnica de Nível Médio

A Educação Profissional no Brasil remonta a períodos históricos marcados pela formação para as classes mais pobres. Ela surge como resposta às demandas sociais e econômicas, principalmente decorrentes da industrialização, estabelecendo-se gradualmente ao longo do século XX (Urbanetz, 2011). Instituições como as escolas de aprendizes e artífices, o Senai e o Senac foram marcos importantes nesse processo, estruturando a formação técnica e tecnológica no país. Desde então, o segmento tem sido influenciado por diferentes abordagens, desde a formação tecnicista até a formação integral e humanista e enfrenta vários desafios, como a necessidade de alinhar-se com as demandas do mercado de trabalho e as expectativas da sociedade (Silva, 2021).

O termo "educação tecnológica" foi adotado em substituição ao conceito de politécnica durante as discussões sobre a LDB na década de 1990, refletindo as disputas políticas e ideológicas da época (Garcia; Lima Filho, 2010). Por sua vez, o termo "Educação Profissional Técnica de Nível Médio" (EPTNM), regulamentado pelo Decreto nº 5154/2004, refere-se à modalidade de educação profissional no nível médio, destinada a estudantes que concluíram o ensino fundamental ou médio (BRASIL, 2004).

Os cursos técnicos podem ser oferecidos de forma articulada com o Ensino Médio ou de forma subsequente a ele. Na modalidade articulada, podem ser integrados ao Ensino Médio para estudantes que já concluíram o Ensino Fundamental, ou realizados concomitantemente ao Ensino Médio para aqueles que estão começando ou já cursam o Ensino Médio. Esses cursos podem ser oferecidos na mesma escola ou em instituições de ensino diferentes. Além disso, há a possibilidade de desenvolvê-los em regime de intercomplementaridade, ou seja, concomitante na forma e integrado em um projeto pedagógico conjunto. Já na modalidade subsequente, os cursos são destinados a estudantes que já concluíram o Ensino Médio (BRASIL, 2007).

No contexto do ensino dos CBE, estes podem ser considerados conhecimentos gerais ou específicos. Geral no sentido das habilidades a desenvolver dispostas na Base Nacional Comum Curricular, obrigatória no Ensino Médio. Específica pois vários cursos da área técnica vão trabalhar com os princípios da eletricidade como Técnico em Eletrotécnica, Técnico em Instrumentação Industrial, Técnico em Eletrônica e vários outros cursos presentes no Catálogo Nacional de Cursos Técnicos (BRASIL, 2020). Portanto, os conceitos relacionados à eletricidade tem grande importância no contexto da EPTNM visto que integram não só o componente curricular de Física do Ensino Médio, mas também está presente em vários outros componentes curriculares de diversos cursos técnicos.

Portanto, para além da discussão apresentada na seção anterior sobre a importância dos modelos e analogias no Ensino de Física, considerando que a Educação Profissional envolve uma aprendizagem significativa, contextualizada e que favoreça o uso intensivo de recursos criativos (Mello; Carvalho; Silvério, 1997), e que gere habilidades em resolver problemas, as práticas de ensino mediadas com esses recursos podem se constituir como importantes práticas educativas também para a EPTNM. Para Ramos (2014), o ensino na Educação Profissional deve ser conduzido a fim de que as práticas educativas ultrapassem os limites da educação bancária e assumam um caráter científico-reflexivo. É nesse sentido que entendemos que os conceitos básicos da Eletrodinâmica, quando trabalhados de maneira dialogada e propositiva com os estudantes, podem fornecer uma maior autonomia discente em suas futuras práticas profissionais. Nossa investigação perpassa, portanto, pela compreensão da EPTNM não apenas como uma modalidade relacionada com a profissionalização e a preparação para o mundo do trabalho, e sim, como um processo educativo que envolve a concepção de tecnologias e a concepção de educação (Oliveira, 2000). Além disso, educação profissional e tecnológica como um processo em que o estudante adquire competências sobre o conhecimento tecnológico em combinação com elementos cognitivos do saber, do saber fazer e do saber ser e estar (Aguayo; Lama, 1998). Ainda nessa perspectiva, consideramos o seu viés pedagógico, em que o indivíduo, não apenas construa conhecimentos relativos a uma determinada profissão, mas que consciente desses conhecimentos, perigos e desafios, possa, também, criar e transformar saberes para a sociedade.

A abordagem de ensino adotada neste contexto deve ser enquadrada dentro da perspectiva de uma educação tecnológica que não só prepara os estudantes para as exigências do mercado de trabalho e para as constantes transformações tecnológicas, mas também busca contribuir para a formação integral dos estudantes, conforme argumentado por Bianchetti (2008). É fundamental considerar a intersecção entre tecnologia, educação e as experiências juvenis, particularmente à luz do impacto significativo das novas tecnologias na vida dos jovens e nas dinâmicas do mercado de trabalho, conforme discutido por Silva, Bady e Felicetti (2020). A integração de novas tecnologias, evidenciada pelo uso de ferramentas de prototipagem digital na elaboração do modelo analógico apresentado neste estudo, sublinha a importância de tais ferramentas digitais em estratégias pedagógicas destinadas ao ensino de Conceitos Básicos de Eletrodinâmica na Educação Profissional e Tecnológica de Nível Médio, intermediadas pelo uso do PRODMACE.

3.3. Aproximação Sociocultural e a Ação mediada

A aproximação sociocultural desenvolvida por James V. Wertsch é uma abordagem teórica que busca compreender as relações das ações humanas a partir de uma perspectiva sociocultural de raízes vygotskianas (Pereira; Ostermann, 2012). Essa abordagem enfatiza a importância das interações sociais, da linguagem e da cultura na formação do conhecimento e no desenvolvimento cognitivo. Segundo Wertsch (1991), a mente humana é moldada e influenciada pelo contexto sociocultural em que está inserida, e a mediação cultural desempenha um papel fundamental nesse processo. Wertsch busca em seus estudos compreender a relação entre ação humana e contextos culturais, institucionais e históricos. Essa perspectiva teórica parte da premissa de que as ações humanas são mediadas por ferramentas culturais, que moldam e influenciam o comportamento e o pensamento dos indivíduos. A ação mediada, que envolve o uso de ferramentas culturais disponíveis em um determinado contexto, é considerada a unidade de análise central nessa abordagem. Por meio da análise das interações entre agentes ativos e recursos mediacionais, a aproximação sociocultural de Wertsch busca compreender como o conhecimento é construído, como os problemas são resolvidos e como a cultura influencia o pensamento e o comportamento humano. Essa abordagem sociocultural oferece contribuições para o estudo da aprendizagem, fornecendo alternativas metodológicas que consideram o meio social e material onde os fenômenos educacionais se manifestam (Paula; Araújo, 2013).

Wertsch destaca a importância da mediação na ação humana e como as ferramentas ou artefatos culturais desempenham um papel fundamental na forma como interagimos com o mundo ao nosso redor. Esses artefatos podem ser ferramentas, tecnologias, símbolos linguísticos, entre outros. Wertsch argumenta que esses artefatos culturais não são apenas instrumentos externos que utilizamos, mas também moldam e influenciam nossa forma de pensar e agir. Por exemplo, o uso de uma ferramenta específica pode afetar a maneira como resolvemos um problema ou realizamos uma tarefa (Pereira; Ostermann, 2012). Da mesma forma, a linguagem que utilizamos para nos comunicar não apenas transmite informações, mas também molda nossa compreensão do mundo e influencia nossas interações sociais. Essa perspectiva ressalta a interdependência entre a mente humana, a cultura e o ambiente em que vivemos. Nossas ações e pensamentos são mediados pelas ferramentas culturais presentes em um contexto, e, por sua vez, nossas ações e pensamentos também contribuem para a reprodução e transformação da cultura. Existe uma relação dinâmica entre a mente humana e o contexto cultural em que estamos inseridos. Reconhecer a importância da mediação na ação humana nos faz refletir sobre como os artefatos culturais moldam nossas

experiências e influenciam nossas práticas cotidianas e educacionais, sendo um fator de grande importância à aprendizagem e ao comportamento humano.

Um dos principais pontos trabalhados por Wertsch é a importância da linguagem e de outros sistemas simbólicos mediados pela cultura na cognição humana, argumentando que a linguagem não é apenas uma ferramenta de comunicação, mas também um importante aspecto na formação do pensamento e na construção do conhecimento (Wertsch, 1991). Através da linguagem, nós somos capazes de simbolizar e representar o mundo ao seu redor, o que possibilita o desenvolvimento de formas avançadas de pensamento, como a abstração e a generalização. Além da linguagem, outros sistemas simbólicos, como os gestos, os símbolos matemáticos e os recursos visuais, também desempenham um papel mediador na cognição humana. Esses sistemas simbólicos permitem a representação e a manipulação de conceitos abstratos, facilitando a compreensão e a resolução de problemas variados. Através da mediação cultural proporcionada pela linguagem e pelos sistemas simbólicos, os seres humanos são capazes de internalizar e compartilhar conhecimentos, participando de formas mais avançadas de interação social e de atividades intelectuais. Wertsch (idem) introduz o conceito de "materialidade dos meios de mediação", argumentando que qualquer meio mediacional possui propriedades materiais. Ele afirma que as propriedades acústicas da linguagem, como os sons das palavras, fornecem à linguagem sua materialidade. No entanto, essa afirmação levanta questões sobre a relação entre materialidade e as ferramentas culturais que medeiam a ação humana.

A ação mediada se configura como uma análise apropriada para compreender o funcionamento humano, pois reconhece que a ação humana, incluindo a ação mental, utiliza meios mediacionais ou ferramentas culturais. Nesse sentido, a ação humana se insere em um contexto cultural, institucional e histórico. Sob a perspectiva trabalhada por Wertsch, a sala de aula é concebida como um espaço social que proporciona oportunidades para os estudantes interagirem com as ferramentas culturais, seja por meio de debates em grupo, atividades experimentais em laboratórios, resolução de problemas, recursos didáticos, entre outras práticas. Os professores, ao adotarem a abordagem da ação mediada, podem avaliar as habilidades específicas dos estudantes ao utilizar determinadas ferramentas e refletir sobre quais são as mais apropriadas para a realização de atividades específicas (Pereira; Ostermann, 2012).

A interdependência entre a mente humana, a cultura e o contexto em que vivemos é um aspecto essencial da teoria da ação mediada. Essa perspectiva nos leva a refletir sobre como nossas ações e pensamentos são influenciados pelos artefatos culturais presentes em um determinado contexto, e, ao mesmo tempo, como nossas ações e pensamentos contribuem para a reprodução e

transformação da cultura. Isso implica que a aprendizagem e o comportamento humano são fortemente influenciados pelo ambiente sociocultural em que estamos imersos. Na perspectiva da Ação Mediada, Wertsch (1991) argumenta que a mente humana não opera isoladamente, mas é moldada por fatores externos, como ferramentas, símbolos e instituições sociais. Portanto, ensinar os estudantes a usarem ferramentas culturais disponíveis e mais adequadas para determinada situação, enriquece a aprendizagem. Nesse sentido, o uso de um modelo baseado na analogia entre um circuito hidráulico e um circuito elétrico pode ser considerado uma forma de mediação por esse artefato cultural. O artefato cultural seria, então, o próprio modelo, desenvolvido com elementos e aspectos mais próximos à realidade do estudante e de melhor visualização (circuitos hidráulicos) para representar e explicar fenômenos da eletrodinâmica (circuitos elétricos). O modelo como uma ferramenta mediacional, permite a compreensão dos conceitos da eletrodinâmica por meio de uma representação mais concreta e familiar.

3.4. Práticas educativas fundamentadas em analogias

O uso de analogias no ensino, basicamente, consiste em explicar novos conceitos por meio de conceitos conhecidos e familiares ao interlocutor. Os novos conceitos são, portanto, os tópicos ou ideias desconhecidas ou pouco conhecidas, enquanto os conceitos conhecidos são os tópicos ou ideias familiares. Nesse sentido, utilizar ideias, modelos e situações já compreendidas ou visualizadas para explicar o desconhecido pode se constituir como uma analogia (Duit, 1991; Thiele; Treagust, 1994). Os conceitos familiares serão chamados neste estudo de domínios bases (DB), e os conceitos desconhecidos serão chamados de domínios alvos (DA) (Gentner, 1983). As analogias envolvem o estabelecimento de correspondências entre características similares entre o DB e o DA. No entanto, na prática, nem todas as características nos dois domínios da analogia correspondem ou são similares.

Analogias podem promover ou facilitar a visualização de conceitos com alto grau de abstração ou simplesmente desconhecidos. Em muitos casos, podemos dizer que elas tornam o invisível e o muito abstrato visíveis e reais. Por exemplo a analogia, bastante utilizada e que será objeto de estudo deste trabalho, em que um circuito hidráulico ajuda na visualização do comportamento da corrente elétrica em circuitos elétricos (Schwedes; Dudeck, 1996).

As analogias desempenham um papel muito importante na aprendizagem conceitual e a sua utilização possibilita que os estudantes façam inferências em um campo desconhecido a partir do que eles conhecem em um campo mais familiar. Esse procedimento viabiliza o estabelecimento de conexões entre conceitos e processos inicialmente desconhecidos ou intrincados (Else; Ramirez;

Clement, 2002). As analogias funcionam como uma ponte entre os conceitos, tornando o novo conteúdo mais relevante e compreensível para os estudantes. Ao relacionar o material novo com conceitos previamente compreendidos, os estudantes podem estabelecer conexões mais sólidas e duradouras entre os diferentes tópicos, o que facilita a retenção e aplicação do conhecimento (Duit, 91).

Entretanto, é importante ressaltar que nem todas as analogias são igualmente efetivas em um ambiente de ensino. A seleção das analogias e serem utilizadas desempenha um papel fundamental para assegurar que sejam pertinentes, e de fácil compreensão pelos estudantes. Além disso, é essencial reconhecer as limitações inerentes às analogias, uma vez que podem não abranger todos os aspectos de interesse de um DA (Brown; Salter 2010). Explicitar tais diferenças e limitações é, então, parte integrante do ensino com o uso de analogias.

Essas limitações das analogias têm sido motivo de preocupação no contexto do ensino, e diversos autores desse campo de pesquisa enfatizam a importância de abordá-las adequadamente em sala de aula. Mozzer e Justi (2015) definem as limitações como as características e propriedades não compartilhadas entre o análogo e o alvo, ou as condições em que a analogia não se aplica. Para essas autoras, o problema não é a existência dessas limitações inerentes a qualquer comparação, mas sim a falta de exploração e explicitação das mesmas. Sendo assim, é fundamental que as limitações das analogias sejam exploradas com os estudantes para que eles compreendam seus alcances e suas possíveis restrições.

Existem diferentes abordagens quanto à definição de analogia, e neste trabalho o referencial teórico considerado para esta definição foi a Teoria do Mapeamento de Estruturas – TME (Gentner, 1983) e a Teoria das Múltiplas Restrições – TMR (Holyoak; Thagard, 1989). Segundo Gentner (1983), analogias são comparações envolvendo correspondências relacionais entre um DB – familiar ao interlocutor – e um DA – que se busca a compreensão. Para indicar que tipo de comparação tem essas correspondências relacionais, de modo a classificá-la como uma analogia, a autora propôs uma teoria para o mapeamento das analogias. Na TME os elementos e predicados (ou características e relações dos elementos) do DB e do DA podem ser alinhados e mapeados sistematicamente. Contudo, uma distinção simples, mas fundamental, é feita entre os tipos de predicados: devemos distinguir os atributos dos elementos, das relações existentes entre esses elementos e seus atributos. Os atributos são predicados descritivos baseados em apenas um argumento, que é o próprio elemento ao qual o atributo descreve, enquanto as relações são predicados relacionais baseados em dois ou mais argumentos. Por exemplo: a carga negativa do elétron é um predicado descrito dessa partícula, já o movimento circular dos elétrons ao redor do núcleo de um átomo se

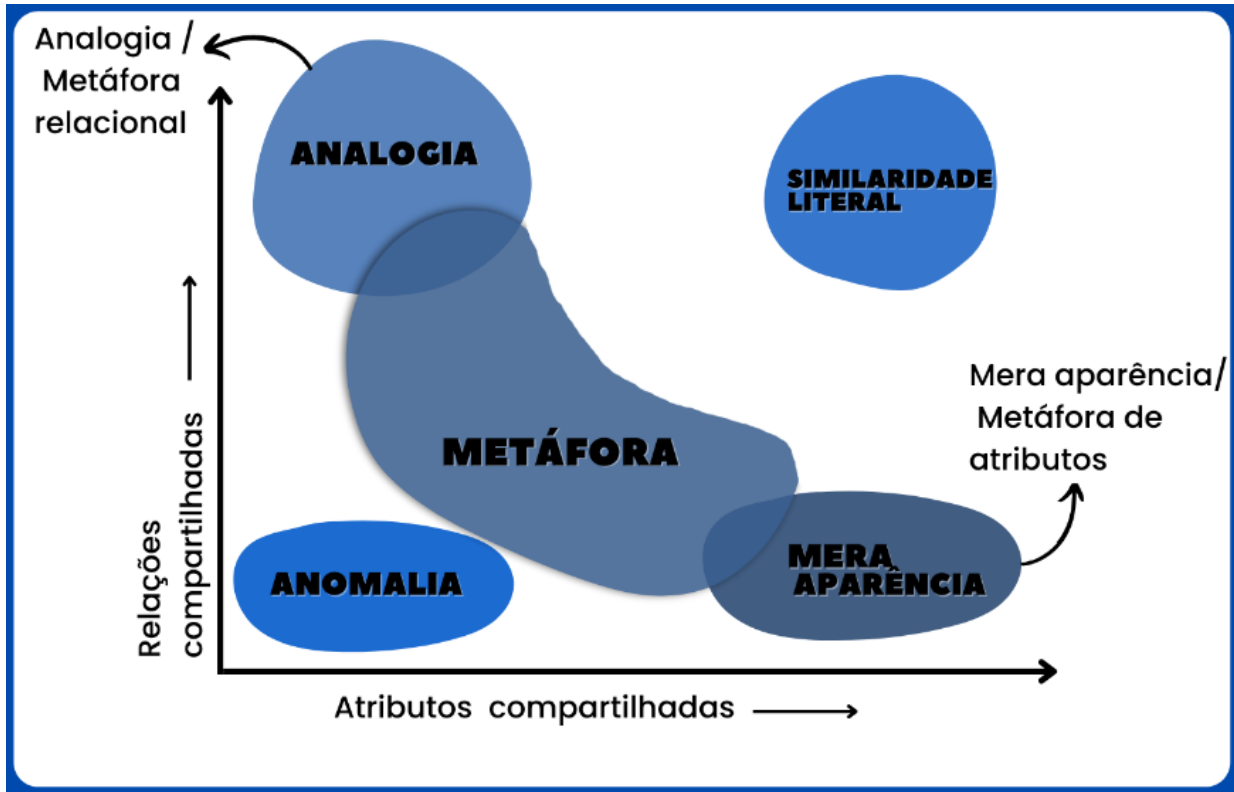
configura como um predicado relacional entre os elétrons e o núcleo, isto é, uma relação entre esses dois elementos que constituem a estrutura de um átomo. Em outro exemplo, considerando a analogia entre o modelo atômico de Rutherford e o sistema solar, a massa do núcleo é um predicado descritivo do núcleo que pode ser colocado em correspondência com a massa do sol, um predicado descritivo similar desse elemento no domínio base dessa analogia. Isto é, a massa, como um atributo do núcleo no domínio alvo, é um predicado que descreve uma característica desse elemento; semelhantemente, no domínio base, a massa também se constitui como um predicado descritivo do sol. Nessa mesma analogia, ao dizermos que assim como os planetas giram em torno do sol, no átomo os elétrons giram em torno do núcleo, estamos colocando em correspondência uma relação entre os elétrons e o núcleo que é semelhante à relação entre os planetas e o sol. Além dessa correspondência, certamente a analogia entre o modelo atômico e o sistema solar nos permite estabelecer um maior número de correspondências relacionais. Uma analogia é, portanto, uma comparação em que é possível identificar uma estrutura de relações (e não somente de atributos) aplicáveis a ambos os domínios comparados.

As analogias são uma forma de transferência de conhecimento entre domínios diferentes. Elas são estabelecidas a partir da identificação de correspondências relacionais entre as entidades dos domínios envolvidos. Essas correspondências podem ser de diferentes tipos, como correspondências de relações, correspondências de atributos e correspondências de elementos. E, ainda segundo Gentner (1983), uma propriedade das boas analogias seria a presença de relacionamentos de ordem superior interconectados na base e que podem ser colocados em correspondência com relacionamentos de ordem superior interconectados no alvo (um critério chamado sistematicidade, que será detalhado adiante).

Destacando a diferença entre analogias e outras comparações, Gentner e Markman (1997) propuseram um mapa de similaridades (Figura 6) para distinguir entre diferentes tipos de comparações. Segundo os autores, uma analogia é caracterizada por uma alta similaridade nas relações entre os dois domínios em comparação, mas pouca similaridade nos atributos desses elementos. Do mesmo modo, outras formas de comparação também podem ser classificadas considerando o número de relações e de atributos compartilhados entre os domínios comparados. Por exemplo, as comparações de mera aparência envolvem alta similaridade entre os atributos e baixa similaridade entre as relações. As similaridades literais são comparações que apresentam alta similaridade tanto entre as relações quanto entre os atributos dos elementos. Comparações que envolvem um baixíssimo número de atributos e relações similares, são consideradas por Gentner e Markman (1997) como anomalias. Além disso, o mapa de similaridades da Figura 6 mostra que as

metáforas são uma forma de comparação que abrange tanto comparações relacionais quanto comparações baseadas em atributos, mas com uma diferença importante: nas metáforas se configuram como enunciações em que as comparações ficam mais implícitas.

Figura 6 - Mapa de similaridades



Fonte: Gentner e Markman (1997) - traduzido e adaptado.

Portanto, pela análise da Figura 6 esses diferentes tipos de comparações podem ser descritos como: (a) **Similaridade literal**: ocorre quando um grande número de predicados é mapeado da base para o alvo em relação à quantidade de predicados não mapeados, abrangendo tanto os predicados relacionais quanto os atributos dos objetos; (b) **Analogia**: caracterizada pela comparação em que muitos predicados relacionais são mapeados da base para o alvo, mas com poucos predicados descritivos; (c) **Anomalia**: comparação sem sobreposição de atributos ou relações; (d) **Mera aparência**: Comparações que não envolvem mapeamentos relacionais, mas apenas correspondências entre os predicados descritivos de objetos ou elementos, como forma, tamanho, cor, entre outros (Gentner, 1983).

Gentner (idem) propõe ainda a utilização do Mapeamento Estrutural como um esquema de representação das correspondências. Esse mapeamento consiste no alinhamento de elementos,

atributos e relações entre os dois domínios comparados: O domínio base (base - b) e o alvo (target - t), conforme expressões:

$$A(bi) \rightarrow [A(ti)] \quad (1)$$

$$R(bi,bj) \rightarrow [R(ti,tj)] \quad (2)$$

A expressão (1) representa uma correspondência entre atributos (A) de algum elemento no domínio base (bi) e algum elemento no domínio alvo (ti). Já a expressão (2) descreve correspondências de relações, de primeira ordem, entre elementos dos dois domínios. A relação de primeira ordem poderia ser ainda uma relação entre atributos ou entre elementos e atributos. Por fim, a expressão 3, a seguir, representa um outro tipo de correspondência: A de relações de ordem superior, onde R' representa uma relação entre relações.

$$R'(R1(bi,bj),R2(bk,bl)) \rightarrow [R'(R1(ti,tj),R2(tk,tl))] \quad (3)$$

Essa abordagem de realização do mapeamento estrutural, embasado na TME, deve ser abrangente, explícita e exaustiva de modo de identificar o maior número possível de correspondências entre os dois domínios. E são essas características e relações mapeadas entre os dois domínios que definem o tipo de comparação estabelecida (Mozzer; Justi, 2015). Segundo a Teoria do Mapeamento de Estruturas, a efetividade de uma relação analógica depende, principalmente, do tamanho e da profundidade da estrutura relacional comum entre os domínios (Gentner, 1983; Gentner; Markman, 1997; Gentner; Kurtz, 2006). Entender a estrutura relacional comum de uma analogia permite analisar suas potencialidades e fragilidades, tornando-se uma ferramenta útil para o uso de analogias como recurso didático no ensino de conceitos e modelos científicos.

Esse mapeamento exaustivo, além de elucidar as relações de similaridade, podem apontar também diferenças entre os domínios envolvidos na comparação analógica. No que diz respeito a essas limitações presentes em uma comparação analógica, Gentner e Markman (1997) conceituam dois tipos de características distintivas: As diferenças alinháveis, que são características que não podem ser comparadas em elementos e atributos em correspondência, e diferenças não alinháveis ou limitações, que são características de um domínio para as quais não há características correspondentes no outro. Os autores enfatizam que as diferenças alinháveis são mais destacadas, uma vez que as pessoas têm a tendência de propor mais diferenças para pares de elementos ou atributos com algum grau de similaridade.

O mapeamento é, como já enfatizado, o elemento central da TME, pois modela os processos cognitivos envolvidos na interpretação de uma comparação. Para realizar esse mapeamento

optamos por utilizar o padrão representacional desenvolvido por Ferry (2016 e 2018) e complementado por Barbosa (2019) e tem como base as considerações teóricas e a representação inicialmente proposta por Gentner (1983) sobre as correspondências entre os domínios comparados. O esquema de representação será detalhado na seção 4.4, do capítulo sobre a metodologia adotada na pesquisa.

Gentner e Markman (1997) apontam que o alinhamento explícito nos mapeamentos deve ser regido por três restrições psicológicas, sendo características fundamentais para considerar uma comparação como uma analogia propriamente dita: A Consistência Estrutural, o Foco Relacional e a Sistemática. Essas características são fundamentais para identificar e compreender adequadamente as analogias em contextos de ensino e pesquisa em Educação em Ciências. Primeiro, o alinhamento entre os domínios deve ser estruturalmente consistente: em outras palavras, deve-se observar a conectividade paralela e a correspondência um a um. A conectividade paralela exige que as relações pertinentes no DB tenham argumentos em comparação no DA, e a correspondência um a um limita qualquer elemento em um domínio a no máximo um elemento correspondente no outro domínio (Falkenhainer; Forbus; Gentner, 1989; Gentner, 1983; Gentner e Clement, 1988; Holyoak e Thagard, 1989). A segunda limitação característica das analogias, é o foco relacional: as analogias devem envolver relações comuns, mas não precisam envolver descrições de objetos comuns (ou seja, não estamos preocupados em comparar as características físicas dos elementos correspondentes mas sim as relações existem entre os elementos, entre os atributos e até relações derivadas de outras relações). A terceira restrição de uma analogia é a sistematicidade: as analogias tendem a corresponder a sistemas conectados de relações (Gentner, 1983). Um conjunto correspondente de relações interconectadas por relações restritivas de ordem superior torna uma correspondência analógica melhor do que um número igual de relações correspondentes que não estão conectadas entre si. Não estamos muito interessados em analogias que capturam uma série de coincidências, mesmo que haja muitas delas, mas que não sejam interconectadas.

Conforme destacado por Gentner e Markman (1997), o mapeamento de um conjunto de relações de ordem superior, que estão interconectadas e impõem restrições às relações de ordem inferior, possibilita uma correspondência analógica mais efetiva do que a mesma quantidade de relações mapeadas, mas desconectadas entre si. Esse tipo de alinhamento favorece a projeção de inferências mais plausíveis do domínio base para o domínio alvo (Gentner; Bowdle, 2008). Adicionalmente, a sistematicidade também guia o processo de inferência analógica. Ao invés de importar fatos aleatórios da base para o alvo, as pessoas projetam inferências que completam o sistema de relações compartilhadas entre as situações comparadas (Clement; Gentner, 1991).

Portanto, a sistematicidade desempenha um papel crucial na compreensão das analogias, permitindo que o mapeamento das relações de ordem superior gere um alinhamento mais consistente e coerente entre as situações, favorecendo a projeção de inferências plausíveis e completando o sistema de relações comuns entre o domínio base e o domínio alvo. A investigação mais aprofundada desse aspecto será abordada no próximo capítulo desta dissertação, em que exploraremos a relação entre sistematicidade e o processo de inferência analógica.

Holyoak e Thagard (1989, 1995) desenvolveram uma segunda teoria que fornece critérios para a análise de aspectos estruturais, semânticos e pragmáticos das analogias: a Teoria das Múltiplas Restrições. Nela, os autores postulam que o propósito e o contexto afetam todas as etapas da inferência analógica, incluindo o estágio de mapeamento e que objetivos diferentes podem levar a mapeamentos diferentes para o que é supostamente a mesma analogia (Holyoak, 1989).

A TMR afirma que a coerência analógica emerge da interação de três restrições:

1. A restrição estrutural do isomorfismo que implica que os elementos dos domínios base e alvo que correspondem em um contexto devem fazê-lo em todos os outros, ou podemos dizer que há um paralelismo estrutural entre elementos e relações dos dois domínios.

2. A restrição de similaridade semântica que implica na semelhança entre os tipos de relações estabelecidas entre os domínios.

3. A adequação pragmática implica que o mapeamento dê preferência aos elementos considerados especialmente importantes e ainda tente manter correspondências que possam ser presumidas com base no conhecimento do domínio base.

Esses três tipos de restrições – Estrutural, semântica, e de propósito – não funcionam como regras rígidas que ditam a definição de analogias, mas como forças que orientam o processo analógico criativo (Holyoak e Thagard, 1989).

Analisando as restrições psicológicas propostas por Gentner e Markman (1997) as restrições apresentadas por Holyoak e Thagard (1989), podemos estabelecer correspondências entre elas, principalmente no que diz respeito à restrição de isomorfismo e à consistência estrutural. De acordo com ambas, o paralelismo dos elementos em comparação é um fator importante das analogias. Para exemplificar essas convergências e demonstrar a complementaridade das duas teorias, Ferry (2016) construiu o Quadro 1 a seguir:

Quadro 1: Restrições psicológicas das analogias segundo os referenciais teóricos

Restrições de Holyoak & Thagard	Restrições de Gentner & Markman
<i>Isomorfismo</i> Favorece mapeamentos que satisfazem o critério da consistência estrutural; requer que se uma proposição no alvo corresponde a outra na fonte, os seus argumentos também devem ser correspondentes; requer também que cada elemento do alvo corresponda a somente um elemento da fonte, e que dois elementos do alvo não devem corresponder a um mesmo elemento da fonte.	<i>Consistência Estrutural</i> Enuncia a necessidade de haver uma correspondência um-a-um e a necessidade de haver uma conectividade em paralelo entre os elementos que compõem os domínios da analogia; requer que as relações correspondentes possuam argumentos correspondentes, e a correspondência um a um limita qualquer elemento em um domínio a no máximo um elemento correspondente no outro domínio.
<i>Similaridade semântica</i> Favorece correspondências entre elementos que têm significados semelhantes; as semelhanças entre os objetos em correspondência devem estar condicionadas às semelhanças das relações em correspondência.	
	<i>Sistematicidade</i> Diz que as correspondências entre relações capazes de conectar outras relações estruturais nos domínios da comparação são mais interessantes e significativas para a analogia do que predicados isolados no seu mapeamento.
<i>Adequação pragmática</i> Favorece correspondências pragmaticamente importantes para quem faz a analogia; o propósito da analogia influencia a seleção de uma fonte relevante e de aspectos específicos dessa fonte no contexto da analogia.	
	<i>Foco relacional</i> O foco de uma analogia deve estar nas relações e não nos atributos dos elementos que constituem cada domínio comparado.

Fonte: Ferry (2016)

Na definição de analogia utilizada no presente estudo iremos ter como base de análise as restrições trazidas neste quadro para conceituar as comparações que analisaremos com sendo, ou não, comparações analógicas. Pelas semelhanças, já comentadas, entre as restrições de consistência

estrutural e de isomorfismo, iremos nomear essas restrições como sendo somente de consistência estrutural. Dito isso, consideramos que as analogias serão limitadas pelas seguintes restrições:

- 1- De consistência estrutural
- 2- De similaridade semântica
- 3- De foco relacional
- 4- De adequação pragmática
- 5- De sistematicidade

Para exemplificar como dois domínios podem ser considerados análogos, compartilhando, por conseguinte, um padrão comum de relações, apresentamos o mapeamento de duas comparações frequentemente empregadas no Ensino de Química, especificamente para o tópico de conteúdo modelos atômicos, apresentadas do livro de Ferry, Barbosa e Assis (2023). A primeira comparação envolve o modelo atômico de Dalton e uma bola de sinuca. Embora essa comparação seja frequentemente apresentada como uma analogia, o seu mapeamento estrutural revela que ela se constitui como uma comparação de mera aparência entre a estrutura do átomo e a de uma bola de sinuca. Já o mapeamento estrutural da segunda comparação, que envolve o modelo atômico de Rutherford e o sistema solar, revela um potencial analógico, que nos permite exemplificar cada uma das restrições mencionadas, de acordo com o referencial teórico adotado. A representação esquemática do mapeamento feito pelos autores do livro é a proposta por Ferry (2016, 2018) e será detalhada no capítulo da metodologia da pesquisa. Dito isso, ressaltamos que a segunda coluna dos Quadros 2 e 3 possui símbolos e identificações que serão explicados doravante.

Na primeira comparação, a estrutura atômica segundo a teoria de Dalton é o DA e as características de uma bola de sinuca é o DB. O mapeamento estrutural dessa comparação está representado no Quadro 2.

Quadro 2: Mapeamento estrutural da comparação entre o modelo atômico de Dalton e uma bola de sinuca.

Domínio Base	Código das correspondências	Domínio Alvo
Bola de sinuca.	E_1 	Átomos modelados.
As bolas de sinuca são esféricas.	$A_1(E_1)$ 	Os átomos seriam esféricos.
As bolas de sinuca são maciças.	$A_2(E_1)$ 	Os átomos seriam maciços.
As bolas de sinuca são indivisíveis.	$A_3(E_1)$ 	Os átomos seriam indivisíveis.

As bolas de sinuca são imutáveis.	$A_4 (E_2)$ 	Os átomos seriam imutáveis.
Embora as bolas de sinuca sejam indivisíveis, elas são destrutíveis.	$D_1: [A_3 (E_1)]$ 	Além de indivisíveis, os átomos seriam indestrutíveis.
Cores das bolas de sinuca; as bolas de sinuca são coloridas.	$L_1: [A_5(E_1)]$ 	Esse atributo não se aplica aos átomos.
Essa capacidade não se aplica às bolas de sinuca.	$L_2: [A_6(E_1)]$ 	Capacidade de ligação; os átomos podem se ligar uns com os outros para formar moléculas.

Fonte: Ferry, Barbosa e Assis (2023)

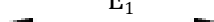
Note que no mapeamento não existem correspondências entre relações, mas sim correspondências entre atributos das entidades em questão, como o formato esférico (A_1), o preenchimento maciço (A_2) e a indivisibilidade estrutural (A_3). Segundo apontado por Ferry, Barbosa e Assis (2023):

O mapeamento estrutural dessa comparação não evidenciou relações em correspondência. [...] trata-se de uma comparação de mera aparência. Contudo isso não significa que a mesma não possa ser usada ou construída por professores de Ciências ou autores de livros didáticos. Embora essa comparação de mera aparência não tenha o potencial de desencadear um raciocínio tipicamente analógico, ela é pontualmente útil para compartilhar com os estudantes as características que os átomos teriam segundo a teoria atômica estudada (Ferry; Barbosa; Assis, 2023 p.43).

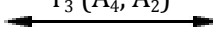
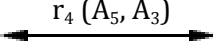
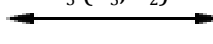
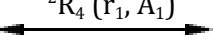
Além das correspondências de similaridade, o mapeamento evidenciou também diferenças alinháveis e limitações, contudo não discutiremos esses aspectos agora, pois o objetivo desse exemplo foi apenas mostrar o motivo da comparação anterior não ser considerada uma analogia: o seu foco não é relacional; trata-se de uma comparação focada na aparência similar (nos atributos) entre o átomo e a bola de sinuca.

Na segunda comparação, a estrutura atômica segundo a teoria de Rutherford é o DA e as características e relações do sistema solar é o DB. O mapeamento estrutural dessa comparação está representado no Quadro 3.

Quadro 3: Mapeamento estrutural da comparação entre o modelo atômico de Rutherford e o sistema solar

Domínio Base	Código das correspondências	Domínio Alvo
Sistema Solar	E_1 	Átomo (modelo)
Sol	E_2 	Núcleo

Planetas	E_3	Elétrons
Órbitas “definidas” dos planetas	$L_1: [A_1(E_3)]$	Terminal negativo da bateria (Ânodo)
Massa do sol	$A_1(E_2)$	Massa do núcleo
Tamanho do Sol	$A_3(E_2)$	Tamanho do núcleo
Massa dos Planetas	$A_4(E_3)$	Massa dos elétrons
Os planetas possuem diferentes massas	$D_1: [A_4(E_3)]$	Os elétrons possuem massas idênticas
Tamanho dos planetas	$A_5(E_3)$	Tamanho dos elétrons
Os planetas possuem tamanhos diferentes	$D_2: [A_5(E_3)]$	Os elétrons possuem tamanhos idênticas
Movimento ininterrupto dos planetas	$A_6(E_3)$	Movimento ininterrupto dos elétrons
Não há atributo correspondente	$L_2: [A_7(E_2)]$	Carga positiva do núcleo
Não há atributo correspondente	$L_3: [A_8(E_3)]$	Carga negativa dos elétrons
Os planetas se distribuem e giram ao redor do Sol	$r_1(E_3, E_2)$	Os elétrons se distribuem e giram ao redor do núcleo
O movimento ininterrupto dos planetas ao redor do Sol é elíptico.	$L_4: [{}^2R_1(A_6, r_1, E_3)]$	O movimento dos elétrons ao redor do núcleo não foi caracterizado por Rutherford.
Os planetas giram ao redor do Sol em um mesmo sentido e praticamente em um mesmo plano.	$D_3: [r_1(E_3, E_2)]$	Os elétrons giram ao redor do núcleo em planos diferentes e não necessariamente em um mesmo sentido.
Os planetas e o Sol se atraem mutuamente.	$r_2(E_3, E_2)$	Os elétrons e o núcleo se atraem mutuamente.

A atração entre os planetas e o Sol é do tipo gravitacional.	$D_4: [r_2(E_3, E_2)]$ 	A atração entre os elétrons e o núcleo é do tipo eletrostática.
A massa dos planetas é bem menor que a massa do Sol.	$r_3(A_4, A_2)$ 	A massa dos elétrons é bem menor que a massa do núcleo.
Os planetas são menores (tamanho) que o Sol.	$r_4(A_5, A_3)$ 	Os elétrons são menores (tamanho) que o núcleo.
Cada planeta gira ao redor do Sol em uma órbita definida, específica e exclusiva.	$L_5: [{}^2R_2(r_1, A_1)]$ 	Os elétrons giram ao redor do núcleo sem órbitas definidas, específicas e exclusivas.
Há um espaço entre os planetas e o Sol.	$r_5(E_3, E_2)$ 	Há um espaço entre os elétrons e o núcleo.
Entre os planetas e o Sol é possível encontrar outros corpos (satélites, meteoros, partículas); não há vácuo absoluto.	$D_5: [r_5(E_3, E_2)]$ 	Entre os elétrons e o núcleo atômico, não é possível encontrar nenhum tipo de partícula; trata-se de uma região vazia.
Por causa da atração mútua entre o Sol e os planetas, os planetas giram ao redor do Sol.	${}^2R_4(r_1, A_1)$ 	Por causa da atração mútua entre o núcleo e os elétrons, os elétrons giram ao redor do núcleo..

Fonte: Ferry, Barbosa e Assis (2023)

O mapeamento indica a possibilidade do estabelecimento de 14 correspondências de similaridade, sendo três entre elementos, seis entre atributos de interesse, cinco entre relações de primeira ordem e uma entre relações de segunda ordem. As comparações de interesse se baseiam na semelhança dos papéis relacionais, em vez de semelhanças diretas entre entidades individuais ou apenas entre os seus atributos (por exemplo, as massas dos planetas não se assemelham à massa dos elétrons, mas, no caso das massas, podemos dizer que a massa dos planetas é bem menor que a massa do Sol assim como a massa dos elétrons é bem menor que a massa do núcleo).

Como já discutido toda analogia apresenta diferenças e limitações. Por exemplo, os planetas possuem massas diferentes, enquanto os elétrons possuem massas iguais (D_1). No entanto, se as diferenças e limitações importantes forem reconhecidas e explicitadas, a analogia pode continuar sendo valiosa. Cabe à analogia fornecer um propósito de representação capaz de auxiliar na compreensão do comportamento do domínio alvo, e enfatizar as relações mais relevantes (Gray; Holyoak, 2021). A seguir iremos destacar algumas relações identificadas no mapeamento da analogia de forma a descrever as 5 restrições de nosso referencial teórico:

- 1- Consistência estrutural: a análise desse aspecto estrutural envolve duas condições - a correspondência um a um e a conectividade em paralelo. Referindo-se à primeira condição, nas relações listadas, cada um dos elementos ou atributos do sistema solar corresponde a apenas um elemento ou atributo da estrutura atômica do modelo de Rutherford. Quanto à segunda condição, a correspondência entre a força de atração de elementos do sistema solar com a força de atração de elementos do átomo, por exemplo, evidencia uma conectividade em paralelo entre os elementos envolvidos - planetas/sol e elétrons/núcleo: (i) planetas e Sol se atraírem mutuamente, no DB, e elétrons e núcleo se atraírem mutuamente, no DA.
- 2- Similaridade semântica: podemos identificar a similaridade semântica em todos os enunciados das comparações contidas no mapeamento. Por exemplo entre os atributos dos dois domínios (tamanho dos planetas e tamanho do Sol no DB e tamanho dos elétrons e tamanho do núcleo no DA) e entre relações (“os planetas são menores (tamanho) que o Sol” no DB e “os elétrons são menores (tamanho) que o núcleo.” no DA). Logo, essas as relações e os elementos em correspondência possuem significados semelhantes.
- 3- Foco Relacional: de acordo com os próprios autores (Ferry; Barbosa; Assis, 2023), apesar da proporção maior de atributos em comparação com o número de relações mapeadas e do número de diferenças alinháveis e limitações, ao analisarmos as correspondências, podemos concluir que se trata de uma analogia com foco relacional apropriado. O foco dessa analogia não está nas correspondências entre os elementos ou atributos de cada domínio, mas incide principalmente sobre as correspondências das relações de primeira ordem (r_1 e r_2) e de segunda ordem (r_3).
- 4- Adequação pragmática: essa restrição aponta que uma analogia é direcionada pelas intenções daquele que a concebe. Existem várias correspondências possíveis para fazermos entre os elementos do sistema solar e os elementos do átomo. Mas pela restrição da adequação pragmática, tencionamos as comparações realizadas para o propósito pretendido pelo uso da analogia, intencionalmente. Por exemplo, mesmo havendo várias correspondências possíveis para se estabelecer entre esses domínios, ao compará-los podemos direcionar o olhar para falar da relação entre o movimento dos planetas e dos elétrons, as relações entre os tamanhos e massas e a força de atração entre os elementos.
- 5- Sistematicidade: de acordo com essa restrição, uma analogia deve estabelecer correspondências de sistemas com interconexões relacionais, os quais há a presença de relações de ordem superior, em contraposição à existência de, apenas predicados isolados constituídos por atributos de elementos ou relações de primeira ordem. Na analogia a

relação de segunda ordem (2R_3) conecta as principais relações de primeira ordem (r_1 e r_2). Sendo, portanto, uma relação de causalidade entre essas relações de primeira ordem. Há ainda a presença de outras três relações (r_3 , r_4 e r_5) que não estão conectadas por outras relações de ordem superior.

A demonstração de cada uma das restrições nas relações descritas da analogia entre a estrutura atômica segundo o modelo de Rutherford e o sistema solar demonstra a coerência do uso das cinco restrições propostas por Gentner e Markman (1997) e por Holyoak e Thagard (1989) na composição de nosso referencial teórico e na orientação de como podemos definir uma analogia como sendo efetiva para o uso em ambientes educacionais.

Por fim, vamos abordar mais um conceito da TME importante para este trabalho: a estrutura relacional comum das analogias. No contexto da TME, a efetividade de uma relação analógica depende, principalmente, do tamanho e da profundidade de sua estrutura relacional comum (Gentner, 1983; Gentner e Markman, 1997; Gentner e Kurtz, 2006), decorrente do alinhamento entre os elementos, atributos e relações similares colocados em correspondência (Gentner e Kurtz, 2006). Embora o conceito de estrutura relacional de uma analogia seja um dos principais termos usados nos trabalhos de Gentner e seus colaboradores, a sua definição não aparece formalmente nos trabalhos aos quais tivemos acesso. No entanto, Gentner (1983) nos dá alguns exemplos elucidativos para entendermos o conceito e, ademais, afirma que uma analogia pode ser representada por uma “estrutura na qual um predicado relacional de ordem superior rege as conexões entre os predicados de ordem inferior” (p. 162 – livre tradução). Essa afirmação aliada às três restrições anteriormente apresentadas da TME – a consistência estrutural, o foco relacional e a sistematicidade – nos permite entender o conceito de estrutura relacional comum como um conjunto de relações concatenadas que, uma vez presentes nos dois domínios, representa a estrutura de uma analogia.

3.5. Práticas educativas fundamentadas em modelagem

O ensino de disciplinas científicas tem sido objeto de estudo e reflexão por parte de pesquisadores e educadores em todo o mundo. Dentre as diversas abordagens pedagógicas utilizadas, o uso de modelos e processos de modelagem tem se destacado como uma estratégia eficaz para o Ensino de Ciências (Gilbert; Justi, 2016). Os processos de modelagem podem ser entendidos como um processo de produção ou construção de modelos. Entretanto, a definição da palavra modelo vai depender do contexto em que for aplicado. Em outros contextos não científicos, o termo modelo pode ser relacionado a um padrão a ser seguido, a algum tipo de marca ou coisa, ou ainda, como molde de alguma coisa, ou seja, algo a ser reproduzido (Ferry, 2016). Podemos pensar

no conceito de modelos por um viés filosófico, psicológico, estético dentre vários outros aspectos, todavia, no contexto desta pesquisa iremos trabalhar com a concepção dos modelos como artefatos epistêmicos. Nessa concepção, segundo Knuuttila, (2005), os modelos são vistos como artefatos feitos pelo ser humano, materializados de alguma forma, portanto, tendo muitas outras funções epistêmicas além da de representar o mundo.

Esse entendimento conceitual dos modelos no âmbito da Educação em Ciências se torna adequado porque nos permite ver um modelo como uma representação de dados comportamentais, mas sem, necessariamente, saber em detalhes a natureza das entidades que os causam, e ainda nos permite usar modelos como ferramentas investigativas, pois eles são parcialmente dependentes das experiências da *realidade* (Gilbert; Justi, 2016).

Para Knuuttila (2005), pensar os modelos como artefatos no lugar de simplesmente representações faz com que eles possam dar suporte à nossa imaginação sobre como as coisas podem ser e se relacionar umas com as outras. Isso significa que, como artefatos, os modelos podem ser usados em práticas científicas de diferentes maneiras. Assim uma das diversas práticas realizadas por modelos é a da representação, porém se trata de uma representação criativa que envolve objetos, processos e ideias.

A modelagem, por sua vez, é o processo de construção e utilização de modelos para compreender e explicar fenômenos naturais. Segundo Maia e Justi (2009), o uso dos modelos e do processo de modelagem na educação em Ciências pode apoiar o pensamento e auxiliar no processo de construção de conhecimentos científicos abstratos. Conforme Justi e Gilbert (2002), Justi (2006) e Gilbert e Justi (2016), esses processos de modelagem é composto por 4 etapas, que podem ocorrer em ordem variadas e são categorizadas da seguinte forma:

i. **Criação**, a etapa em que são definidos e/ou compreendidos os propósitos para a obtenção de informações sobre a entidade a ser modelada, bem como a seleção de uma base para estabelecer os fundamentos iniciais. A obtenção de informações pode transcorrer de variadas formas, como por meio de fontes internas (tais como as ideias prévias dos estudantes) e/ou externas (como pesquisas, experimentos mentais e/ou empíricos, informações providas na atividade e/ou pelo docente). As bases podem ser escolhidas a partir do uso de metáforas, analogias e/ou equações matemáticas. A conjunção dinâmica e/ou simultânea dessas subetapas (definição e/ou compreensão de objetivos, obtenção de informações e seleção de bases) somada à inventividade e à reflexão crítica do autor culmina na criação do proto-modelo.

ii. **Expressão**, a etapa em que o autor opta por modos de representação (tridimensional, gestual, simbólico, verbal, bidimensional – sendo este último potencialmente virtual) para dar

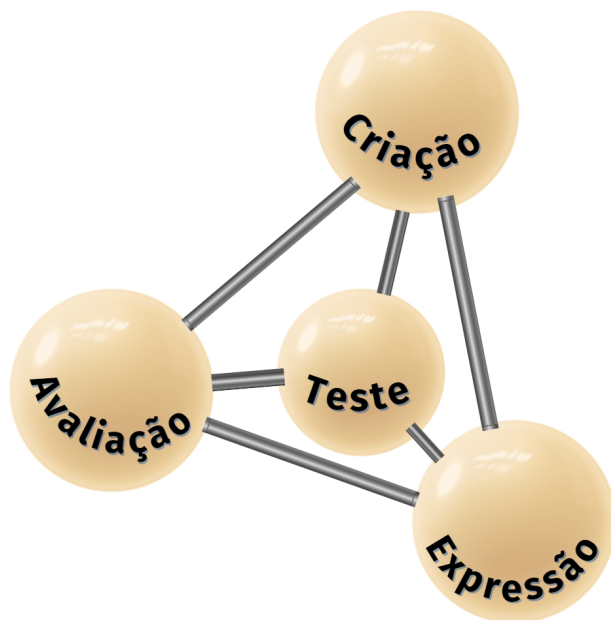
concretude ao seu proto-modelo. Concomitantemente ou imediatamente após a seleção de um ou mais modos de representação, o autor delimita os detalhes de representação, considerando as limitações inerentes aos diferentes modos e, assim, a disponibilidade de recursos necessários para empregar cada um deles. Consequentemente, é comum que o modelo expresso se diferencie do proto-modelo idealizado.

iii. **Teste**, a etapa na qual se efetua a análise da adequação do modelo em relação aos objetivos pelos quais foi concebido. Os testes podem ser empíricos e/ou mentais, dependendo, sobretudo, do tópico do modelo e das fontes disponíveis. Caso o modelo não satisfaça os objetivos iniciais, ele pode ser reformulado ou rejeitado. Se for rejeitado, é necessário retomar o processo de modelagem. Todavia, esse ciclo tende a ser mais ágil do que o precedente, já que o autor compreende os objetivos, bem como as falhas do modelo quanto a eles, e detém informações adicionais (obtidas nos testes).

iv. **Avaliação**, a etapa em que se procede à avaliação da abrangência e das limitações do modelo construído. Isso se realiza mediante a aplicação do modelo em contextos de sua utilização. Essa é também a etapa em que se busca a maior abrangência possível para o modelo construído, pois este pode ser capaz de elucidar, por exemplo, diferentes aspectos envolvidos em novas circunstâncias propostas.

Para representar as etapas do processo de modelagem, Gilbert e Justi (2016) escolheram um tetraedro (Figura 7). A escolha é justificada devido ao fato de essa forma geométrica possuir quatro vértices equidistantes entre si. Isso permite que a forma seja rotacionada sem modificar as relações entre os vértices. Ademais, o tetraedro consegue capturar a ideia de que as etapas do processo de modelagem não requerem uma ordem específica para acontecer. Por exemplo, um proto-modelo pode ser submetido a teste mental antes mesmo de ser expresso, assim como um modelo pode ser testado e avaliado simultaneamente. Logo, essa forma geométrica sublinha a natureza cíclica, não linear, não pré definida e, portanto, complexa e dinâmica do processo.

Figura 7 - O modelo da modelagem.



Fonte: Gilbert e Justi (2016) - adaptado e traduzido.

A representação do processo de modelagem (Figura 7) proposta por Gilbert e Justi (2016) foi delineada com base na consideração desse processo como uma prática científica e epistêmica, ou seja, como atividades que moldam os processos científicos e culminam na geração de conhecimento científico, respectivamente (Jiménez-Aleixandre; Duschl, 2015). Essa representação pode ampliar a percepção da modelagem, permitindo que o docente ultrapasse a mera instrução de conteúdos científicos previstos no currículo em qualquer nível educacional, possibilitando, assim, o ensino das Ciências (Gilbert; Justi, 2016).

O uso de modelos e processos de modelagem apresenta diversas vantagens para o ensino de Ciências, permitindo aos estudantes compreender conceitos abstratos de forma mais concreta e visual, desenvolver habilidades investigativas, compreender a natureza da Ciência e promover a interdisciplinaridade. As práticas educativas baseadas em modelagem são uma abordagem de ensino que enfatiza a construção e uso de modelos para explorar conceitos científicos. Essa abordagem envolve os alunos em um processo ativo de construção do conhecimento, em que eles são incentivados a criar, manipular e revisar modelos para investigar fenômenos científicos (Assis, 2020).

De acordo com Clement (2008), tanto cientistas quanto estudantes usam modelos nos processos para construção de significados dos conceitos científicos. Por meio da visualização de modelos, os indivíduos podem explorar e manipular conceitos complexos, o que pode levar a novas

ideias e soluções criativas. Contudo, apesar das vantagens do uso de modelos e processos de modelagem no Ensino de Ciências, existem também desafios a serem enfrentados. Em primeiro lugar, a construção de modelos pode ser uma tarefa complexa em ambientes de ensino, exigindo um alto nível de abstração e pensamento crítico (Maia; Justi, 2009). Além disso, a validação dos modelos pode ser um processo minucioso e demorado, exigindo a coleta e análise de dados experimentais (Mendonça; Justi, 2009). Por fim, a utilização de modelos em contextos interdisciplinares pode exigir uma coordenação cuidadosa entre os professores de diferentes áreas do conhecimento, a fim de garantir a coerência e a integração dos conhecimentos (Oliveira; Justi; Mendonça, 2015).

Conforme Rost e Knuuttila (2022), a perspectiva artefactual direciona sua atenção para as indagações que os modelos se propõem a elucidar. As autoras destacam que essa abordagem concentra-se primordialmente na elaboração do modelo e na oportunidade que este proporciona para uma teorização científica mais aprofundada, bem como para explorações diversas, abrangendo a extensão do modelo a outros domínios ou as inferências que podem ser deduzidas ao aplicar o modelo em diferentes cenários.

A abordagem artefactual pode parecer controversa, ao buscar elucidar o valor epistêmico da modelagem sem recorrer explicitamente à noção de representação, ao passo que enfatiza a importância das ferramentas de representação. Não obstante, não há contradição inerente, uma vez que a representação, no sentido de estabelecer uma relação entre um modelo e um sistema-alvo no mundo real, necessita ser discernida da representação de elementos internos ao modelo.

A representação, nesta última acepção, refere-se à utilização de ferramentas de representação para comunicar algum conteúdo que antecede a reivindicação de qualquer vínculo representacional entre um modelo e um sistema-alvo externo. Esta diferenciação entre as duas concepções de representação está arraigada na literatura filosófica recente, em que a atividade de modelagem, enquanto construção e estudo de modelos, é nitidamente distinta do processo de estabelecer uma relação representacional entre um modelo e um sistema-alvo (Rost; Knuuttila, 2022).

A abordagem artefactual examina os modelos científicos como produtos humanamente projetados com propósitos específicos em contextos científicos. Essa perspectiva oferece uma alternativa à visão representacional de modelos, buscando superar desafios na compreensão do papel epistêmico da modelagem. Knuuttila (2021) destaca que as abordagens representacionais e artefactuais podem coexistir, desde que a noção de representação seja interpretada adequadamente. No entanto, para compreender como os cientistas adquirem conhecimento por meio da modelagem, a ênfase não deve estar na suposta relação representacional entre modelo e sistema-alvo, mas sim

na construção intencional de modelos como objetos epistêmicos específicos e em como eles são empregados na prática científica. Assim, ao considerar os modelos como artefatos epistêmicos, atribui-se a eles funções que ultrapassam a mera representação, tornando-os intrinsecamente produtivos.

3.6. Modelos analógicos

Há várias relações entre analogias e modelos relacionados à Educação em Ciências. Para Duit (1991), os modelos, assim como as analogias, geralmente apresentam relações entre dois domínios, e é a relação analógica que caracteriza um modelo. É por isso que, frequentemente, modelo e analogia são usados de forma indistinta.

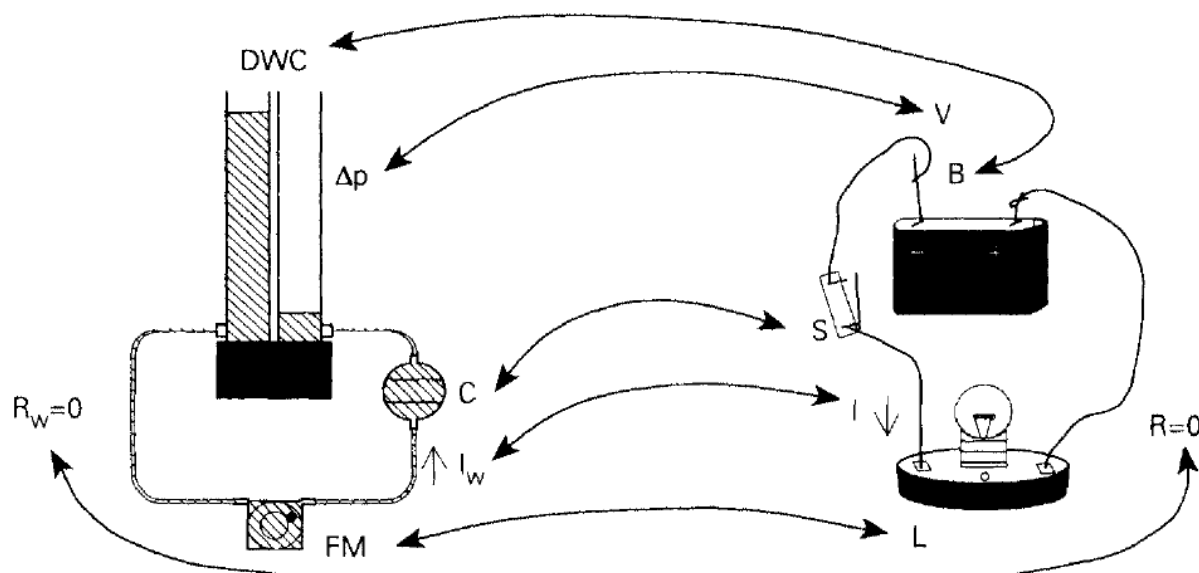
Gilbert e Justi (2016) vêm o raciocínio analógico como essencial para estabelecer relações entre diferentes experiências, ou seja, como parte do processo criativo de integração de diferentes elementos na criação de um modelo; apoiar a seleção dos modos de representação a utilizar; expressar um dado proto-modelo como uma analogia; para formar a base do projeto de um teste; para apoiar uma simulação; estabelecer ou analisar relações entre a utilização do modelo em diferentes contextos e também como forma de demonstrar a validade e utilidade de um modelo.

Clement (2008) também aponta que um modelo é construído por analogias e que, conforme esse se torna mais complexo, várias analogias adicionais podem ser traçadas. Salienta ainda que tópicos de uma analogia podem se tornar parte de um modelo “mesmo que a analogia não constitua o modelo inteiro” (p. 469). Logo, um modelo não é em si uma analogia e relações analógicas não podem representar todas as relações entre um modelo e a fonte da qual ele se originou, contudo, modelos e analogias estão interconectados. E é partir dessas relações de similaridades existentes entre os modelos e suas entidades de interesse que Almeida, Almeida e Ferry (2018) e Mozzier e Justi (2018), afirmam que embora essas relações não necessariamente se configuram como analogias, as analogias podem ser utilizadas no processo de elaboração de modelos.

Podemos então ter uma representação de algo que seja familiar e a partir dessa representação empregar um raciocínio por analogia (Silva; Mozer, 2015). A comparação analógica estabelece conexões de semelhança com o alvo, que, por sua vez, é a entidade de interesse cujo entendimento espera-se ser alcançado. O entendimento do DA, pode, portanto, ser o resultado do processo de abstração e integração de informações que ocorre no raciocínio analógico. Deste modo, enquanto os esquemas podem ser produtos do raciocínio por analogia (a etapa processual) de um indivíduo, as analogias podem ser as fontes de concepções para a formulação destes esquemas.

Assim, de acordo a visão filosófica de modelos como artefatos epistêmicos (Knuuttila, 2005) na Ciência e na aprendizagem de Ciências, tendo que os modelos precisam ser pensados sobre o aspecto de sua manipulação, acesso e finalidade pedagógica, consideramos que as analogias podem ser a base para a produção de modelos. Neste sentido, as analogias também podem ser consideradas artefatos, e a partir de um raciocínio analógico, produzir um modelo cuja finalidade didática é a representação do domínio alvo da analogia. Um modelo construído dessa forma é o que definimos, no âmbito desta pesquisa, como **modelos analógicos**. Portanto, os modelos analógicos são modelos concebidos para serem recursos mediadores em contextos de ensino para auxiliar a construção de significados para um determinado domínio alvo a partir de uma representação desse domínio em analogia com um domínio base. Em um modelo analógico temos, então, as analogias como fontes de ideias para sua elaboração.

Apesar de não utilizarem o termo modelo analógico, Schwedes e Dudeck (1996) elaboram um modelo que exemplifica o conceito que apresentamos anteriormente. Como em nosso trabalho, o modelo prototipado é desenvolvido a partir da analogia entre elementos de um circuito hidráulico e de um circuito elétrico. Um circuito hidráulico, o DB, foi projetado (Figura 8) de modo a concentrar aspectos relevantes dos conceitos básicos da eletrodinâmica em um único modelo, a partir do qual um conhecimento bem estruturado de circuitos elétricos, o domínio-alvo, possa ser construído e estabelecido. Segundo Schwedes e Dudeck (idem), esse tipo de modelo analógico permite que se estabeleçam várias relações entre as entidades de um circuito elétrico, a fim de trabalhar de forma ampla os conceitos básicos da Eletrodinâmica.

Figura 8 - Modelo analógico de um circuito elétrico.

Fonte: Schwedes e Dudeck (1996)

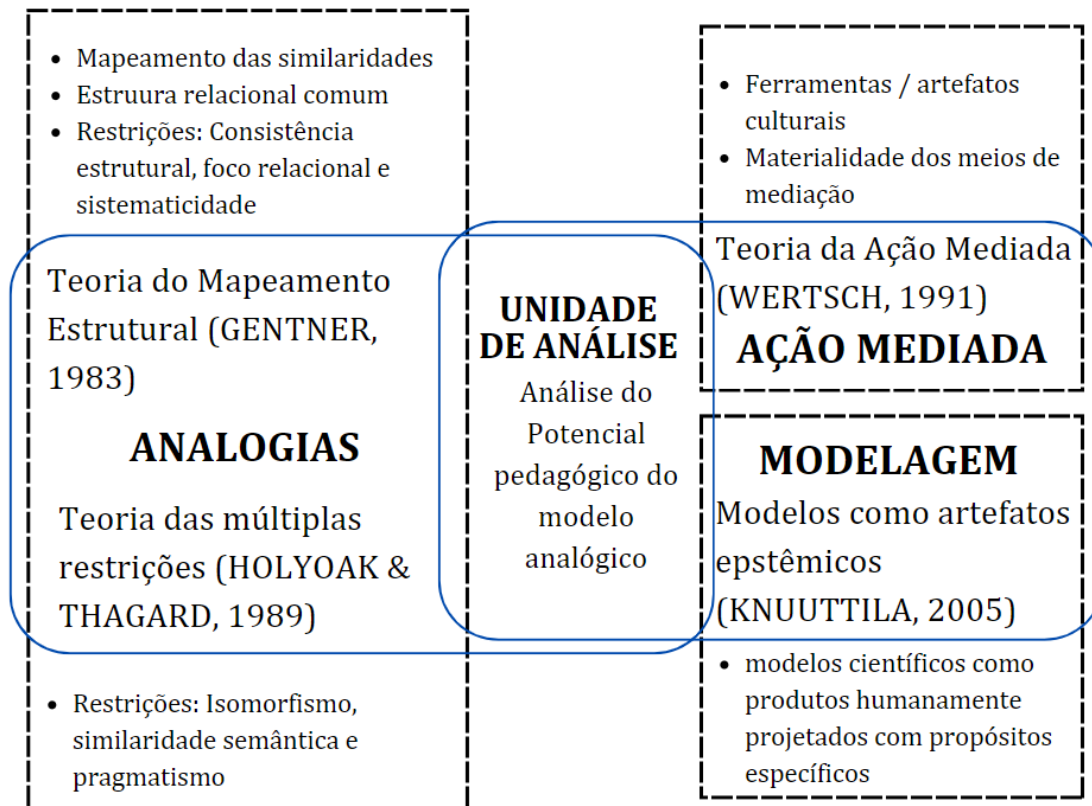
Na descrição feita pelos autores eles citam que uma compreensão sistêmica do circuito hidráulico é fundamental para, posteriormente, estabelecer as correspondências de similaridade como o fluxo de água com o conceito de intensidade de corrente; o conceito de diferença de pressão do circuito hidráulico como impulsionador e causa do fluxo da corrente de água com a diferença de potencial elétrico como impulsionador e causa do fluxo de cargas elétricas bem como a ideia de uma distribuição de diferença de pressão ao longo das resistências (medidores de fluxo) presentes no circuito de água com as resistências de um circuito elétrico. Nas discussões do estudo, Schwedes e Dudeck (1996) concluem que a combinação de várias comparações analógicas em um modelo hidráulico contribuiu para o desenvolvimento conceitual dos estudantes sobre os Circuitos Elétricos.

3.7. Unidade de análise

O modelo analógico prototipado e a analogia entre um circuito hidráulico e um circuito elétrico que fundamentam esse modelo podem ser consideradas ferramentas ou artefatos culturais, conforme proposto na abordagem vygotskiana de Wersch, discutida anteriormente. Ao introduzir um novo signo na atividade de aprendizagem, o modelo analógico proposto, há o potencial de causar transformações em funções mentais dos estudantes. A ideia central que aqui estamos abordando é que esses artefatos proporcionam novas possibilidades para os estudantes. Nesse sentido, a construção de conhecimentos sobre Eletrodinâmica pode ser mediada pelo uso do PRODMACE, permitindo aos estudantes realizar atividades mentais mediadas por esse recurso.

Com essa concepção desenvolvida por Wersch (1991) que destaca a importância da mediação no processo de aprendizagem e com a fundamentação teórica, que permeia tanto a importância do uso de analogias no desenvolvimento cognitivo quanto a relevância da modelagem no contexto de ensino, estruturamos a base teórica para o trabalho desenvolvido nesta pesquisa. Assim, com o intuito de avaliar o potencial pedagógico de um protótipo digital de um modelo analógico de circuito elétrico no contexto educacional, elaboramos uma unidade de análise que compila conceitos fundamentais provenientes dos referenciais teóricos previamente delineados neste capítulo. Os conceitos que compõem essa unidade de análise com os principais teóricos que a embasam estão apresentados na Figura 9.

Figura 9 - Unidade de análise.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

A partir do mapeamento estrutural e das entrevistas semiestruturadas realizadas, analisamos o potencial de uso do recurso construído, inferindo de que maneira ele contribui para o ensino de conceitos básicos da Eletrodinâmica. A unidade de análise é composta, portanto, pelos conceitos e teorias que nos permitiu elaborar conclusões sobre o uso do modelo como um recurso mediacional.

4. METODOLOGIA DA PESQUISA

O presente capítulo expõe de forma detalhada a metodologia empregada nesta pesquisa, a qual envolveu a construção do PRODMACE, o mapeamento estrutural das correspondências e limitações entre os domínios comparados no modelo e ainda a exploração dos dados levantados nas entrevistas com professores. Tanto o mapeamento estrutural quanto a análise dos dados gerados nas entrevistas nos permitiram fazer considerações a respeito do potencial pedagógico do modelo analógico prototipado, que serão apresentados de forma pormenorizada no capítulo de resultados e discussões.

Considerando as categorias enumeradas por Vilelas (2017) quanto aos tipos de estudos, classificamos a pesquisa realizada, quanto à abordagem, como um estudo qualitativo; quanto ao objetivo geral, como um estudo exploratório; e quanto aos procedimentos técnicos, essa pesquisa envolveu estudos bibliográficos, prototipagem digital da entidade modelada, realização de entrevista semiestruturada e mapeamento estrutural de analogias. Os sujeitos de pesquisa da entrevista são professores do Departamento de Física de uma instituição de ensino da Rede Federal de Educação Profissional, Científica e Tecnológica, que lecionam o componente curricular de Física na EPTNM.

A pesquisa qualitativa é uma abordagem de investigação que se destaca pela busca de compreensão e interpretação de fenômenos estudados. Esse tipo de pesquisa concentra-se em explorar perspectivas, experiências e significados subjacentes aos fenômenos, adotando uma abordagem holística que vai além da mensuração e produção de dados numéricos. Denzin (2008), ressalta que a pesquisa qualitativa é orientada para a construção de significados e entendimentos, em contraste com a ênfase na objetividade e generalização frequentemente associadas à pesquisa quantitativa. A subjetividade, a flexibilidade metodológica e a consideração do contexto são elementos fundamentais que delineiam essa abordagem (Creswell; Creswell, 2017) e são princípios nortearam a presente pesquisa na exploração do potencial pedagógico do modelo analógico prototipado e seu possível uso em sala de aula.

Ao adotar uma abordagem exploratória, esta pesquisa concentra-se na descoberta e na geração de inferências, fornecendo um terreno fértil para a investigação inovadora e a análise do fenômeno que está sendo investigado (Denzin, 2008). Nesse contexto, o mapeamento estrutural realizado, as entrevistas semi-estruturadas, e análise de conteúdo foram as ferramentas metodológicas utilizadas para avaliar o recurso didático construído, permitindo explorar adequadamente o objeto de estudo deste trabalho. No âmbito da pesquisa qualitativa exploratória a abordagem indutiva e a flexibilidade metodológica são fundamentais, conforme destacado por

Charmaz (2014). Essa abordagem permite que os pesquisadores se envolvam com os participantes e o contexto em estudo, contribuindo para a construção de análises fundamentadas. A autora destaca que a metodologia qualitativa exploratória não apenas ilumina aspectos pouco conhecidos ou estudados, mas também contribui para o desenvolvimento teórico ao desvelar nuances e perspectivas anteriormente não consideradas.

Quanto aos propósitos delineados, esta pesquisa se caracteriza, portanto, como qualitativa exploratória, visando explicitar e facilitar a formulação de hipóteses acerca das questões de pesquisa. Nesse sentido, almeja-se obter informações abrangentes, servindo como ponto de partida para investigações posteriores, com o intuito de identificar fatores e implicações em contextos específicos, além de gerar hipóteses destinadas a futuras pesquisas (Vilelas, 2017). Dito isso, no desenho metodológico traçado nesta pesquisa tivemos, paralelamente, a realização do mapeamento estrutural das comparações constituintes do PRODMACE e a análise do conteúdo das entrevistas, realizadas com os professores de Física da EPTNM. Na etapa metodológica final, inferências sobre o potencial pedagógico do modelo prototipado foram feitas a partir dos dados gerados por essas duas etapas anteriores. A síntese dos procedimentos metodológicos adotados estão apresentados na Figura 10:

Figura 10 – Fluxograma da metodologia de pesquisa.



Fonte: Figura elaborada pelo autor (2022).

4.1. 1ª etapa: Construção do protótipo do modelo analógico

A pesquisa proposta abrange a elaboração, por prototipagem digital, de um recurso didático concebido e produzido para mediação em aulas de CBE. O roteiro apresentado na Figura 11, elaborado pelo autor desta dissertação, apresenta os aspectos fundamentais considerados no processo de criação do recurso didático. A partir desse roteiro foi possível desenvolver o PRODMACE de forma a contemplar os preceitos teóricos deste trabalho.

Figura 11 – Desenvolvimento do modelo analógico



Fonte: Figura elaborada pelo autor (2023)

4.1.1. Levantamento das analogias

A origem das analogias utilizadas para o Ensino de Física é diversa, podendo ter sido planejada ou gerada espontaneamente pelo professor ou pelos próprios estudantes, ou ainda estar presente em livros didáticos. Como estes são um recurso pedagógico importante, tanto para o planejamento de aulas quanto para consulta por professores e estudantes, os utilizamos como fonte para identificar as comparações potencialmente analógicas (CPA) comumente empregadas no ensino dos conceitos básicos da Eletrodinâmica. Para isso, foram selecionados os livros de Física recomendados pelo Guia de Livros Didáticos do Plano Nacional do Livro Didático (PNLD) dos anos de 2018 e 2021. A fim de ampliar a quantidade de dados levantados e, consequentemente aumentar o repertório de correspondências possíveis de serem feitas na analogia entre circuitos elétricos e circuitos hidráulicos, decidimos por recorrer a livros didáticos também recomendados ou mais utilizados em outros países na Educação Básica. Para tanto, tivemos acesso a um artigo do Instituto Americano de Física (AIP), de Tesfaye e White (2014), que apresenta a relação dos 5 livros didáticos mais utilizados nos Estados Unidos para o Ensino de Física no segmento educacional correspondente ao Ensino Médio no Brasil. Foram consultados 12 livros didáticos de Física do PNLD de 2018, 7 livros didáticos de Ciências da Natureza e suas Tecnologias (que têm a Física como componente curricular) do PNLD de 2021 e os 5 livros didáticos norte-americanos, totalizando 24 obras.

A fim de orientar a busca por comparações que pudessem ser classificadas como analogias entre os domínios de interesse neste trabalho, a partir do nosso referencial teórico, adotamos o conceito de comparações potencialmente analógicas, entendidas como comparações nas quais foi possível identificar, pela leitura do texto contido no livro didático, um foco relacional entre os elementos e atributos do DB e DA. Segundo o nosso referencial teórico (Gentner, 1983), a caracterização do tipo de comparação existente entre dois domínios envolve o mapeamento estrutural de elementos, atributos e relações constituintes. Entretanto, tal procedimento com cada comparação identificada nos 24 livros consultados, além de pouco viável, demandaria um espaço demasiadamente grande neste artigo. Por isso, iremos considerar que CPA são comparações nas quais foi possível identificar, pela leitura do texto contido no livro didático, um foco relacional entre o domínio base e o domínio alvo. Ou seja, as CPA levantadas são aquelas que evidenciavam correspondências para além das que envolviam somente predicados descritivos dos elementos que constituem os domínios, isto é, para além da mera aparência.

Além dessa consideração, para a análise empreendida, delimitamos que Conceitos Básicos da Eletrodinâmica são os conceitos de corrente elétrica, diferença de potencial, fontes de tensão,

resistência elétrica, 1ª e 2ª Leis de Ohm e de fundamentos dos circuitos elétricos. Estes serão os conceitos fundamentais que pretendemos abranger nesta pesquisa na construção do protótipo do modelo analógico.

Para a identificação das CPA, utilizamos 2 procedimentos metodológicos: i) Leitura integral dos capítulos que tratam dos conceitos básicos da Eletrodinâmica; ii) Utilização das obras didáticas em formato digital PDF e programa de computador leitor de PDF (Adobe Acrobat Reader DC), permitindo a busca por caracteres curinga (ou truncamento). Nessa busca utilizando, por exemplo, os caracteres ANALOG, conseguimos fazer a busca por palavras do documento que tenham esses caracteres na ordem apresentada (seria, portanto, possível achar no texto palavras como analogias, analogamente, análogo). Os caracteres de busca utilizados para identificar no texto as CPA presentes nos livros nacionais foram: ANALOG, COMPAR, SEMELH, ASSIM COMO, MESM, AGUA, HIDRAUL. Já para os livros em língua inglesa os seguintes caracteres de busca foram utilizados: ANALOG, COMPAR, SIMIL, LIKE, SIMILAR, SAME, THINK, WATER, HYDRAUL.

Na edição do PNLD 2018, foram consultadas 12 coleções de Física recomendadas. No Quadro 4 especificamos a identificação utilizada neste trabalho referente a cada um dos livros didáticos.

Quadro 4: Identificação dos livros didáticos – PNLD 2018

Código	Referência do livro didático
L1	GASPAR, A. Compreendendo a Física. 3. ed. São Paulo: Ática, 2016. v. 3.
L2	GUIMARÃES, O.; PIQUEIRA, J. R.; CARRON, W. Física. 2. ed. São Paulo: Ática, 2016. v. 3
L3	LUZ, A. M. R.; ÁLVARES, B. A.; GUIMARÃES, C. G. Física: contexto & aplicações: ensino médio. 2. ed. São Paulo: Scipione, 2016. v. 3.
L4	VÁLIO, A. B. M. et al. Ser protagonista: Física: 3º ano do ensino médio. 3. ed. São Paulo: Edições SM, 2016.
L5	YAMAMOTO, K.; FUKU, L. F. Física para o ensino médio. 4. ed. São Paulo: Saraiva, 2016. v. 3.
L6	BISCUOLA, G. J.; VILLAS BÔAS, N.; DOCA, R. H. Física. 3. ed. São Paulo: Saraiva, 2016. v. 3.
L7	GONÇALVES FILHO, A.; TOSCANO, C. Física: interação e tecnologia. 2. ed. São Paulo: Leya, 2016. v. 3.
L8	BARRETO, B.; XAVIER, C. Física aula por aula: 3º ano. 3. ed. São Paulo: FTD, 2016.
L9	BONJORNIO, V. et al. Física: 3º ano. 3. ed. São Paulo: FTD, 2016.
L10	PIETROCOLA, M. et al. Física em contexto: 3º ano do ensino médio. São Paulo: Editora do Brasil, 2016.

L11	TORRES, C. M. A. et al. Física: ciência e tecnologia. 4. ed. São Paulo: Moderna, 2016. v. 3.
L12	MARTINI, G. et al. Conexões com a Física. 3. ed. São Paulo: Moderna, 2016. v. 3.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

No PNLD 2021, em adequação à Reforma do Ensino Médio, foram selecionadas obras didáticas por área de conhecimento. Portanto o conteúdo de Física está inserido nas coleções da área de conhecimento Ciências da Natureza e suas Tecnologias. Cada uma das coleções é composta por 6 obras, contemplando as disciplinas de Física, Química e Biologia. O conteúdo de conceitos básicos da Eletrodinâmica está presente em todas as coleções recomendadas cuja referência e identificação adotada neste trabalho estão dispostas no Quadro 5.

Quadro 5: Identificação dos livros didáticos – PNLD 2021

Código	Referência do livro didático
L13	MORTIMER, E. et al. Matéria, energia e vida: uma abordagem interdisciplinar – O mundo atual: Questões sociocientíficas. 1. Ed. São Paulo: Scipione, 2020
L14	LOPES, S; ROSSO, S. Ciências da natureza : Lopes & Rosso - Mundo tecnológico e ciências aplicadas. 1. ed. São Paulo : Moderna, 2020.
L15	SANTOS, K. C. ET AL. Diálogo: ciências da natureza e suas tecnologias: Energia e sociedade: uma reflexão necessária. 1. ed. São Paulo : Moderna, 2020
L16	AMABIS, J.M. ET AL. Moderna plus: ciências da natureza e suas tecnologias: Ciência e tecnologia. 1. ed. São Paulo : Moderna, 2020.
L17	THOMPSON, M. ET AL. Conexões : ciências da natureza e suas tecnologias : Energia e ambiente. 1. ed. São Paulo : Moderna, 2020.
L18	FUKUI, A. ET AL. Ser protagonista : ciências da natureza e suas tecnologias : Energia e transformações : 1. ed. São Paulo : Edições SM, 2020.
L19	GODOY, L. P; AGNOLO, R. M; MELO W.C. Multiversos : ciências da natureza : eletricidade na sociedade e na vida. 1. ed. – São Paulo : Editora FTD, 2020.

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Já para os livros didáticos do artigo do AIP, buscamos as edições mais atualizadas para cada livro, contudo nem sempre foi possível encontrar a mais atual. As edições utilizadas nesta análise estão especificadas no Quadro 6.

Quadro 6: Identificação dos livros didáticos – AIP

Código	Referência do livro didático
L20	SERWAY, R. A; FAUGHN, J. S. Holt Physics Holt, Rinehart and Winston, 2012.
L21	ZITZEWITZ, P. W. ET AL. Physics – Principles and problems. The McGraw-Hill Companies, 2013.
L22	HEWITT, P. G. Conceptual Physics. 12. ed. Pearson, 2015
L23	GIANCOLI, D. C. Physics: Principles with Applications. Pearson, 2015
L24	SERWAY, R. A; VUILE, C. College Physics. Brooks/Cole, 2012.

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Na análise das obras selecionadas, identificamos um total de 21 CPA distribuídas de modo não uniforme entre os três conjuntos de livros didáticos: nas obras do PNLD 2018, identificamos 9 CPA entre os 12 livros; nas obras do PNLD 2021, apenas uma comparação entre os 7 livros dessa edição do programa; já nas obras do artigo publicado pela AIP, obtivemos um número mais expressivo de comparações, totalizando 11 ocorrências entre apenas 5 livros didáticos. É provável que essas diferenças nas frequências do emprego de analogias entre esses conjuntos de livros didáticos estejam relacionadas com variações nas abordagens feitas pelos autores ou nas orientações pedagógicas dadas pelos programas, como ocorre no caso do PNLD. Contudo, essa questão não se constituiu como objeto de análise neste trabalho.

Destacamos também que algumas CPA (6 das 21 identificadas) não explicitavam textualmente possíveis correspondências envolvendo relações entre os domínios comparados. Todavia, isso não comprometeu o levantamento realizado, pois as ilustrações associadas com os enunciados das comparações estabelecidas nos permitiam realizar inferências sobre tais relações em correspondência.

4.1.2. Levantamento dos elementos, atributos e relações

Nesta etapa do estudo, nas Tabelas 2, 3 e 4 agrupamos os elementos, atributos e relações presentes nas 21 CPA identificadas. A Tabela 2 exhibe os elementos identificados nos dois domínios; a Tabela 3 apresenta os predicados descritivos, isto é, os atributos desses elementos; a Tabela 4 mostra as relações existentes entre esses elementos e/ou seus atributos. Essa abordagem metodológica propõe a identificação de padrões recorrentes, promovendo a base para a construção do modelo analógico e do seu mapeamento estrutural.

Tabela 2 – Elementos dos domínios comparados nas CPA analisadas

Elementos dos domínios comparados	Número de ocorrências
Circuito hidráulico e circuito elétrico	7
Água e cargas elétricas	4
Tubulação e fiação	4
Bomba d'água e Bateria elétrica	3
Torneira/registo hidráulico e interruptor/chave elétrica	2
Reservatórios e terminais	1

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Tabela 3 – Atributos dos Elementos dos domínios comparados nas CPA analisadas

Atributos dos elementos (Predicados descritivos)	Número de ocorrências
Fluxo de água ou moléculas de água com a corrente elétrica ou fluxo de cargas	16
Energia Potencial Gravitacional ou a diferença de energia Potencial Gravitacional com Energia Potencial Elétrica ou a diferença de energia Potencial Elétrica	7
Estreitamento/obstrução no curso d'água com Resistência elétrica	3
Características físicas da tubulação (espessura, comprimento) com a resistividade de um condutor	2
Caminhos em um rio/dutos de uma represa com resistência em paralelo.	2
Diferença de pressão hidráulica com diferença de potencial elétrico	1

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Tabela 4 – Relações explícitas nas CPA analisadas

Relações explícitas (predicados relacionais)	Número de Ocorrências
O fluxo de água ocorre devido à diferença de potencial gravitacional (ou a diferença de nível) entre dois pontos, sendo maior o fluxo quando há uma maior diferença de potencial gravitacional. Como o fluxo de cargas (corrente elétrica) ocorre devido à diferença de potencial elétrico entre dois pontos, sendo maior a corrente elétrica quando há uma maior diferença de potencial elétrico.	8
Uma bomba hidráulica pode fornecer energia para as moléculas de água de forma a manter uma diferença de energia gravitacional entre dois pontos e o fluxo de água ser mantido em circuito. Como uma bateria pode fornecer energia para	3

cargas elétricas de forma a manter uma diferença de energia elétrica entre dois pontos e o fluxo de cargas (corrente elétrica) ser mantido em um circuito.	
As moléculas de água não se movem instantaneamente em um circuito hidráulico. A água que sai da torneira, num primeiro momento, já está no circuito e não vem da fonte (local com maior potencial gravitacional) Como as cargas elétricas não se movem instantaneamente em um circuito. A carga que atravessa uma lâmpada, num primeiro momento, já está no circuito e não vem da fonte (local com maior potencial elétrico)	3
Diminuir o diâmetro da tubulação de um circuito elétrico aumenta a resistência à passagem do fluxo de água. Quão maior for a diminuição do diâmetro menor será o fluxo de água que atravessa o circuito, como quão maior for a resistência elétrica menor será a corrente elétrica que atravessa o circuito elétrico.	3
Fluxo de água se divide nas ramificações do rio sendo o fluxo total igual a soma do fluxo nas ramificações e, para uma mesma diferença de potencial gravitacional, acrescentar caminhos aumenta o fluxo total no circuito. Como a corrente elétrica que se divide nas ramificações de um circuito em paralelo, sendo a corrente total igual a soma da corrente nas ramificações e, para uma mesma diferença de potencial elétrico, acrescentar caminhos (resistências em paralelo), aumenta a corrente total que percorre o circuito	2
Para haver fluxo de água ou de cargas elétricas, o circuito não pode estar interrompido. Portanto, não há fluxo de água em um circuito hidráulico com a torneira fechada, como não de corrente elétrica em um circuito elétrico se a chave ou disjuntor estiver aberto.	1
A espessura da tubulação interfere no fluxo de água de um circuito. As tubulações mais finas e longas aumentam a resistência à passagem do fluxo de água, como a espessura da fiação interfere no fluxo de cargas. As fiações mais finas e longas aumentam a resistência à passagem da corrente elétrica.	1

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Conforme as Tabelas 2, 3 e 4, encontramos 6 elementos, 6 atributos e 7 relações que, inicialmente, foram tomados como ponto de partida para a prototipagem do modelo analógico. As primeiras linhas de cada tabela evidenciam o alto número de ocorrências para determinados elementos, atributos e relações, destacando-se as correspondências de similaridade entre: circuito hidráulico e um circuito elétrico; fluxo de água e corrente elétrica; energia potencial gravitacional e energia potencial elétrica; e o fluxo de água associado à diferença de potencial gravitacional em correspondência com o fluxo de cargas elétricas associada à diferença de potencial elétrico. Consideramos que tais correspondências seriam, portanto, imprescindíveis para a prototipagem do modelo analógico.

4.1.3. Prototipagem digital do modelo analógico

O PRODMACE foi desenvolvido de forma que as representações contidas no modelo sejam capazes de, a partir das correspondências estabelecidas entre os elementos, entre os atributos e as relações que constituem os dois circuitos comparados, ser um recurso mediador com potencial de auxiliar a construção de conhecimentos bem estruturados em Eletrodinâmica. Ademais, o protótipo construído deve conter correspondências de similaridades que, de acordo com a TME, tenham foco relacional, seja estruturalmente consistente, sistemático, tenha similaridade semântica e adequação pragmática. Esses aspectos são fundamentais e serão verificados e explorados posteriormente.

Escolhemos, dois softwares distintos para o processo de criação do protótipo digital do modelo analógico, o TINKERCAD® e o SOLIDWORKS®. O primeiro foi escolhido inicialmente por ser de uso gratuito e por apresentar funcionalidades de criação de objetos para, por exemplo, impressão tridimensional, bastante intuitivas. Essa plataforma de modelagem 3D pode ser acessada por meio de um endereço eletrônico próprio: <https://www.tinkercad.com/3d-design>. Com o uso desse software, criamos uma representação lado a lado de do domínio representante, o circuito hidráulico, e do domínio representado, isto é, a entidade de interesse científico, o circuito elétrico.

Já o software SOLIDWORKS® é um programa de computação gráfica pago que oferece uma quantidade de recursos mais abrangente, permitindo uma criação mais detalhada de protótipos digitais. Pelas especificidades do modelo analógico, esse foi o software utilizado para integrar os elementos e predicados identificados nas CPA encontradas nos livros analisados, incorporando-os em um único modelo. Na seção de resultados estão apresentadas imagens desse protótipo digital, oferecendo uma visualização clara e detalhada das representações contidas no modelo analógico e ainda da representação lado a lado dos circuitos hidráulico e elétrico feito com o TINKERCAD.

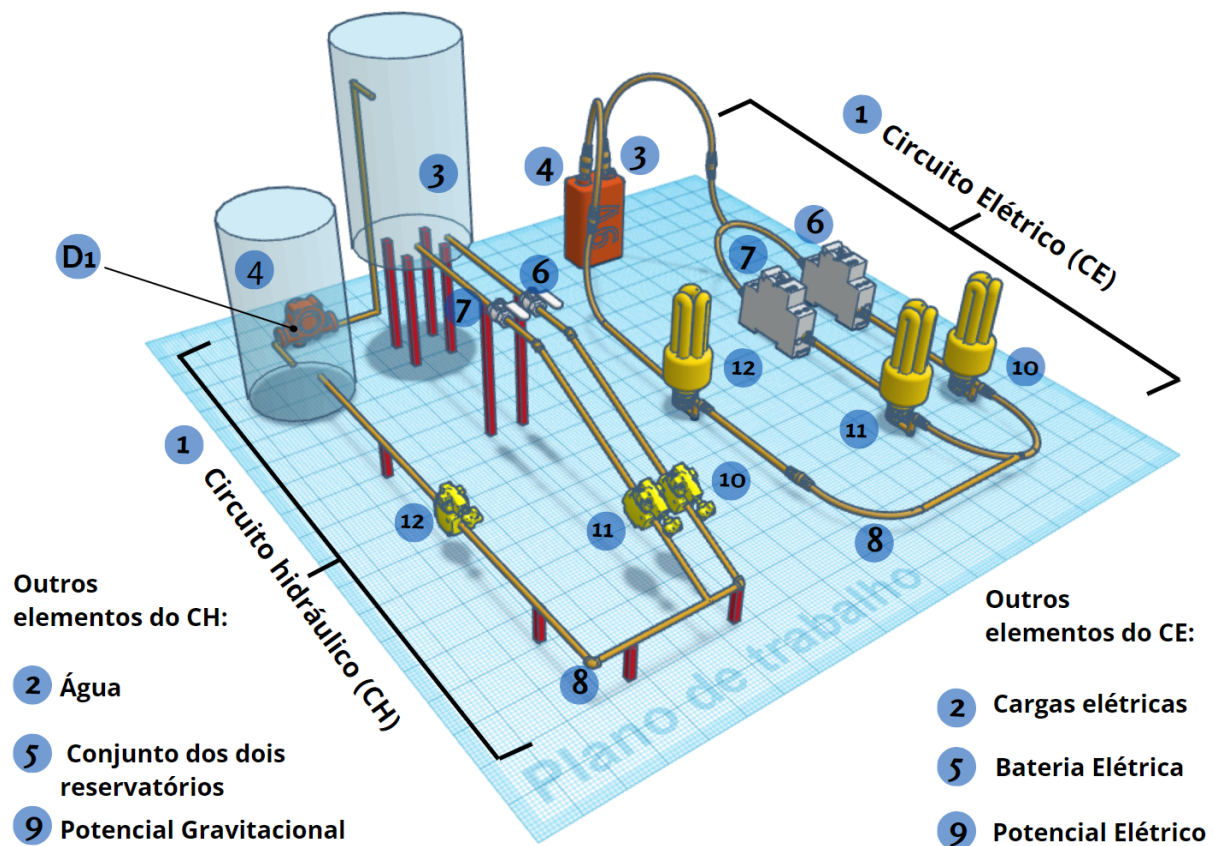
Na prototipagem digital realizada não nos limitamos apenas aos elementos, atributos e relações explicitamente encontrados nos livros didáticos e transcritos nas Tabelas 2, 3 e 4. Compreendemos que esses dados fornecem uma base sólida para identificar os elementos e predicados relevantes para a construção do modelo analógico. No entanto, consideramos outros aspectos durante a prototipagem, como a experiência do pesquisador em sala de aula, a liberdade criativa e as limitações construtivas para uma possível materialização desse modelo analógico.

Compreendemos também que os textos presentes nos livros didáticos muitas vezes são sucintos, implicando na omissão de detalhes que poderiam ser explorados em sala de aula. Portanto, na construção desse protótipo, nosso objetivo é obter um modelo capaz de abranger as correspondências tipicamente estabelecidas nas comparações analógicas encontradas em livros didáticos, que seja viável em termos de construção e agregue valor didático para as aulas de

Eletrodinâmica. Com essa abordagem integrativa e a consideração de múltiplos aspectos na construção do protótipo, podemos associar o modelo analógico prototipado ao conceito de artefatos epistêmicos proposto por Knuuttila (2005), entendidos como ferramentas de pensamento, concebidos e utilizados com a função epistêmica de representação, o que estaria diretamente relacionado com a função didática de mediar os processos de construção e compartilhamento de significados em torno de conceitos, modelos ou teorias científicas no espaço social da sala de aula.

Na Figura 12 apresentamos o protótipo digital criado em que a representação do circuito elétrico se encontra paralelamente apresentada à representação do circuito hidráulico.

Figura 12 – Protótipo digital do modelo de circuito hidráulico (domínio base) e do modelo de circuito elétrico (domínio alvo)



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

No Quadro 7 identificamos os elementos constituintes presentes tanto no domínio base, o circuito hidráulico, quanto no domínio alvo, o circuito elétrico.

Quadro 7: Elementos constituintes dos modelos no DB e no DA

Código	Domínio Base	Domínio Alvo
1	Circuito Hidráulico	Circuito Elétrico
2	Água	Cargas elétricas
3	Reservatório em posição mais elevada	Terminal positivo da bateria
4	Reservatório no nível da base	Terminal negativo da bateria
5	Conjunto dos 2 reservatórios hidráulicos	Bateria Elétrica
6	Válvula (torneira) X	Disjuntor (interruptor) X
7	Válvula (torneira) Y	Disjuntor (interruptor) Y
8	Tubulação hidráulica	Fiação elétrica
9	Potencial Gravitacional	Potencial Elétrico
10	Controlador de fluxo X	Lâmpada (resistor) X
11	Controlador de fluxo Y	Lâmpada (resistor) Y
12	Controlador de fluxo Z	Lâmpada (resistor) Z
D1	Bomba hidráulica	Não há elemento correspondente

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

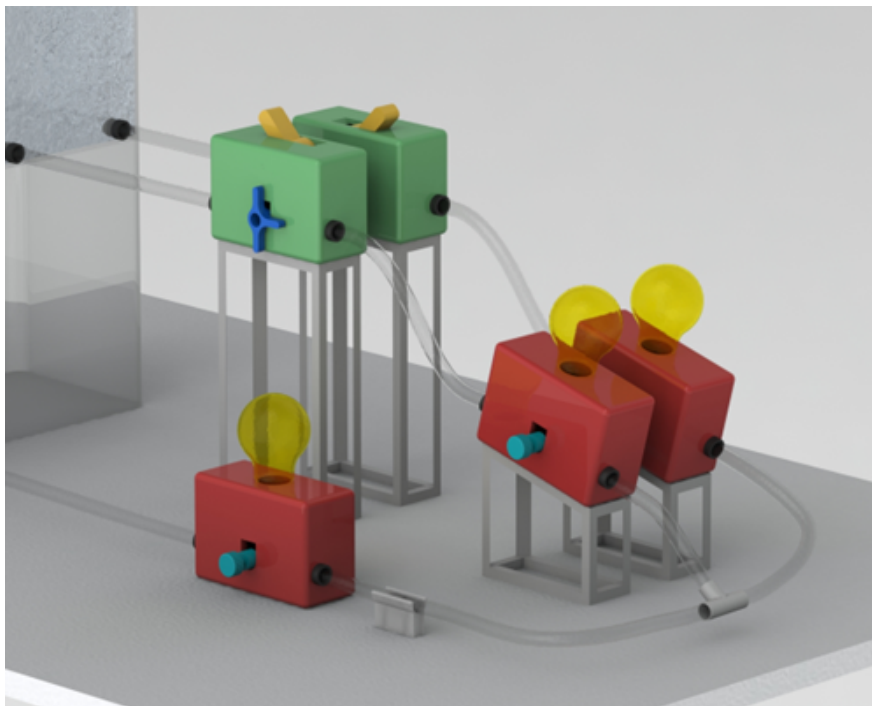
A partir das representações modeladas na Figura 12, prototipamos um modelo analógico do circuito elétrico (Figura 13) considerando elementos de ambos os circuitos, o elétrico e o hidráulico. A construção desse novo protótipo foi realizada no software SOLIDWORKS. Na figura 12 podemos observar, de forma mais evidente, a combinação de alguns elementos. Por exemplo, a representação do disjuntor associada à válvula, ambos codificados como E6, é uma maneira de evidenciar a correspondência existente entre esses elementos. Acreditamos que esse tipo de agrupamento, expresso no modelo analógico, potencializa o entendimento da analogia, auxiliando na construção de significados em torno dos conceitos de interesse no domínio representado, neste caso, o circuito elétrico. Do mesmo modo essa associação pode ser vista nos elementos E3, E4 e E5, em que há um agrupamento do conjunto dos dois reservatórios hidráulicos com a bateria e seus respectivos terminais positivo e negativo.

Outros elementos dos circuitos:

-

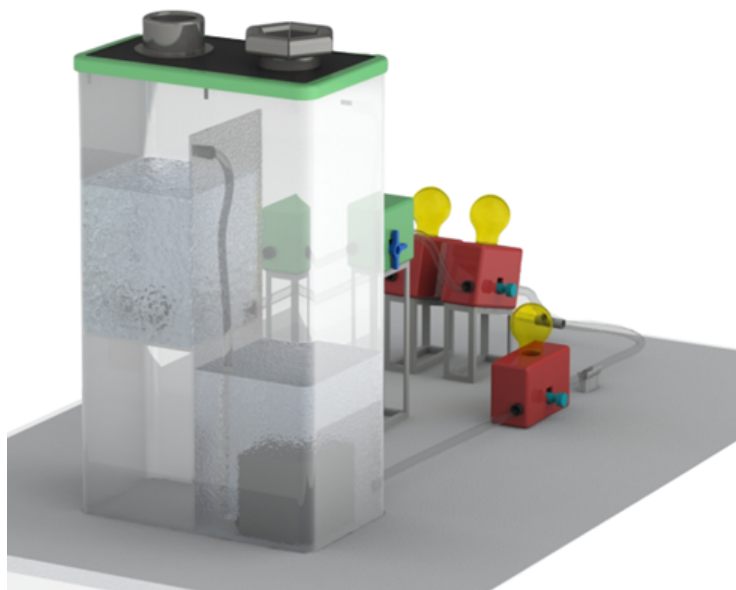
As Figuras 13a, 13b e 13c apresentam detalhes ou outras perspectivas do PRODMACE.

Figura 13a –Vista em detalhe das válvulas/disjuntores e dos controladores de fluxo/lâmpadas



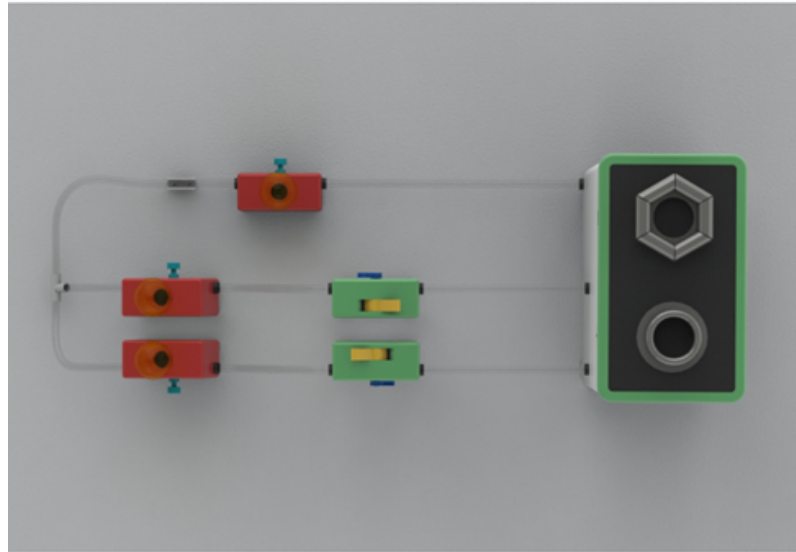
Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Figura 13b –Vista do PRODMACE com recipientes de água/bateria e bomba em primeiro plano.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Figura 13c – Vista superior do PRODMACE



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Ao analisar a inclusão no PRODMACE dos 6 elementos e dos 6 atributos identificados nos livros didáticos, constatamos que todos eles estão presentes. Já para o caso das relações levantadas, o protótipo construído abrangeu 6 das 7 relações contidas na Tabela 4. A seguir apresentamos algumas considerações sobre uma dessas correspondências e também sobre a relação não contemplada no modelo analógico.

i) Encontramos por três vezes a descrição de uma relação nos livros didáticos, na qual uma bomba hidráulica fornece energia às moléculas de água para manter uma diferença de energia potencial gravitacional entre dois pontos, permitindo o fluxo contínuo da água no circuito. Essa relação foi comparada a uma bateria que forneceria energia às cargas elétricas, mantendo uma diferença de energia potencial elétrica entre dois pontos e permitindo o fluxo de corrente elétrica em um circuito. Embora essas características estejam parcialmente presentes no protótipo, essa descrição se refere, na verdade, não a uma relação existente entre os circuitos, mas sim à presença de uma diferença alinhável. No circuito hidráulico, a bomba inserida entre os dois reservatórios tem a função de manter a diferença de potencial gravitacional praticamente constante entre eles. No entanto, no circuito elétrico, a bateria, apesar de possuir funções eletroquímicas, não mantém a diferença de potencial elétrico entre os terminais. Essa diferença de potencial elétrico diminui à medida que a bateria descarrega.

ii) Sobre a relação, identificada apenas uma vez no material analisado, na qual a espessura da tubulação influencia o fluxo de água em um circuito, com tubulações mais finas e longas

apresentando uma maior resistência ao fluxo de água, podemos estabelecer uma correspondência com a influência da espessura dos fios no fluxo de corrente elétrica. Fios mais finos e longos aumentam a resistência à passagem da corrente elétrica. Embora tenhamos considerado a inclusão de um trecho de tubulação com menor espessura no protótipo digital, julgamos mais instrutivo concentrar a discussão na relação entre as resistências hidráulica e elétrica ao fluxo de água e corrente elétrica nos elementos resistivos. No circuito hidráulico, esses elementos são os controladores de fluxo, enquanto no circuito elétrico são as lâmpadas.

4.2. 2ª etapa: Entrevista com professores da EPTNM

Para a realização das entrevistas, por se tratar de uma pesquisa realizada com seres humanos, O presente estudo obteve aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) da instituição dos autores no dia 18 de novembro de 2022, por meio da Plataforma Brasil, sob o número do parecer 5.762.768 e Certificado de Apresentação para Apreciação Ética (CAAE) 64004922.6.0000.8507. Todo o planejamento para a realização das entrevistas semiestruturadas foi feito e, após a aprovação do projeto, procedemos à elaboração do modelo analógico para, posteriormente, conduzir as entrevistas semiestruturadas. Essa etapa possibilitou a coleta e análise dos dados para a Análise de Conteúdo em conformidade com as diretrizes propostas por Bardin (2016) e Franco (2008). Por fim, os resultados das análises foram integrados ao mapeamento estrutural com o objetivo de encontrar respostas para as indagações que orientaram esta pesquisa. Os pormenores de cada etapa estão minuciosamente delineados neste capítulo, juntamente com os demais métodos e instrumentos empregados durante a condução da pesquisa.

Consideramos importante lembrar que todos os cuidados éticos foram tomados a fim de apresentar uma pesquisa íntegra e idônea que garantiu todos os direitos dos participantes da pesquisa, principalmente suas liberdades individuais e os anonimatos, além de preservar suas dignidades perante os procedimentos realizados durante o levantamento e análise dos dados aqui apresentados.

Para a submissão do projeto construímos o Termos de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE – Apêndice I) com a descrição dos aspectos de abrangência da investigação, a descrição da participação dos sujeitos de pesquisa, as autorizações institucionais, os materiais metodológicos de apoio e os roteiros procedimentais. Neste termo, está apresentado os objetivos da pesquisa, a metodologia de participação, os riscos e as ações estratégicas para mitigá-los, os benefícios, as informações de consulta legal e os contatos do CEP, responsável pelo acompanhamento da investigação, e dos pesquisadores, para consultas posteriores dos sujeitos, caso entendam como

necessário. Esse termo foi lido antes da realização de cada entrevista e assinado pelos participantes da pesquisa e/ou seus responsáveis legais, que ficaram, cada um, com uma cópia para si, e pelos pesquisadores, que garantiram serem os únicos a ter contato com o material produzido durante a atividade.

Além do TCLE e do Termo de Autorização do uso de voz e imagem (Apêndice III), foram submetidos ao CEP outros documentos: i) folha de rosto, gerada pela própria plataforma; ii) Declaração de Anuência das Instituições onde foram realizados as entrevistas para o levantamento de dados; iii) os currículos dos pesquisadores extraídos da plataforma Lattes/CNPq; iv) os roteiros das entrevistas; v) o parecer de aprovação do projeto de pesquisa emitido pelo colegiado do Programa de Pós-graduação em Educação Tecnológica, ao qual esta pesquisa está vinculada e vi) e o texto do projeto em documento separado.

Entrevistamos professores cuja atuação docente é realizada nas unidades do CEFET-MG da cidade de Belo Horizonte, sendo a coleta de dados feita na própria instituição de ensino. Como critério de escolha dos participantes, convidamos para a participação professores de Física da instituição. Os professores convidados deveriam ainda ter no mínimo 1 ano de docência na instituição. Pelas respostas obtidas ao convite realizado e disponibilidades dos professores e pesquisador, entrevistamos um total de 5 professores.

Cada entrevista foi composta por uma sequência de perguntas, como pode ser visto no Apêndice II. Nela indagamos, num primeiro momento, os professores da disciplina de Física e de disciplinas técnicas da EPTNM sobre a importância que eles atribuem ao uso de analogias, quando trabalhados os conceitos básicos de circuitos elétricos, sobre quais são as analogias por eles empregadas em sala de aula, ou, se for o caso, o motivo pelo qual não recorrem ao uso deste recurso didático. Posteriormente, após a apresentação do protótipo do modelo analógico, recolhendo as percepções desses professores sobre as possibilidades e limitações pedagógicas da utilização nas aulas de Eletrodinâmica na EPTNM. Essa sequência investigativa foi realizada por meio de entrevistas semiestruturadas, com uma sequência de perguntas, em que os indivíduos entrevistados tiveram a possibilidade de relatar as suas experiências e, o entrevistador seguiu perguntas previamente definidas, enquadradas no contexto de uma conversa informal, conforme orientações em Vilelas (2017).

Buscamos, com a sequência de perguntas propostas, compreender as percepções, ideias e opiniões desses professores sobre o uso das analogias em sala de aula, bem como o valor pedagógico por eles atribuído para uso desse tipo de comparação além de coletar as percepções dos professores quanto ao potencial pedagógico do modelo analógico prototipado.

Nas etapas de coletas da pesquisa, os gravadores foram ligados para captura das falas do pesquisador e do entrevistado. Todas as interações gravadas em áudio durante a pesquisa foram transcritas, em detalhes, para posterior análise de dados. As transcrições completas de todas as entrevistas estão no apêndice IV desta dissertação. As partes que apresentariam identificação dos participantes foram substituídas pela identificação Professor 1, 2, 3, 4 e 5, em cumprimento da garantia do anonimato dos sujeitos de pesquisa, conforme previsto nos TCLE.

4.3. 3ª etapa: Análise de conteúdo

Nessa terceira etapa metodológica, utilizamos a análise de conteúdo (Bardin, 2016; Franco, 2008) como referencial para análise dos dados das entrevistas com os professores. Conforme delineado por Bardin (2011), a Análise de Conteúdo consiste em um conjunto de métodos destinados à análise de diversas formas de comunicação. Qualquer meio de transmissão de significados de um emissor para um receptor requer a aplicação das técnicas de análise de conteúdo, abrangendo uma variedade de formatos como textos, vídeos, áudios, imagens, entre outros. O propósito fundamental é extrair conhecimentos qualitativos, relacionados às condições de produção ou recepção, utilizando procedimentos sistemáticos. Portanto, sustentamos que, para extrair elementos pertinentes dos dados coletados, este referencial revelou-se adequado para a análise proposta. Ainda que a fonte original dos dados seja composta por gravações de áudio, decidimos realizar as transcrições. Essa escolha fundamenta-se na perspectiva de Knoblauch *et al.* (2018), para quem a transcrição representa um passo indispensável em pesquisas qualitativas, exigindo uma redação clara, legível e compreensível. Adicionalmente, destaca-se a importância de analisar e explorar as transcrições com rigor científico, visando mitigar possíveis vieses.

A análise de conteúdo segundo Bardin (2016) e Franco (2008) deve ser desenvolvida em 3 etapas: i) pré-análise, que é a fase de organização dos dados, incluindo a seleção dos documentos a serem analisados, a formulação de hipóteses e objetivos, bem como a criação de indicadores essenciais para a interpretação final; ii) exploração do material, quando os dados são estudados com profundidade para estabelecermos as unidades de registro e de contexto, envolvendo operações de codificação, decomposição ou enumeração, seguindo regras previamente estabelecidas; iii) tratamento dos resultados, a inferência e a interpretação, fase em que fizemos inferências sobre as percepções dos professores quanto ao uso da analogia hidráulico-elétrica e seu modelo analógico.

Na fase de codificação, nossa abordagem consistiu na escolha criteriosa de trechos e expressões que se enquadraram nas categorias identificadas durante a análise dos dados, conforme delineado no Quadro 8. Esses trechos selecionados desempenharam um papel fundamental ao

destacar elementos representativos, contribuindo para a identificação da unidade de registro central, isto é, o tema central em discussão. A partir dessa unidade de registro, desdobramos nossos esforços na extração de informações contidas no material, focando nas ideias, percepções e opiniões dos participantes acerca do tema em estudo: as percepções dos professores acerca do potencial pedagógico do modelo analógico prototipado.

Essa abordagem estratégica permitiu não apenas uma análise detalhada dos conteúdos emergentes, mas também proporcionou uma compreensão abrangente das percepções destacadas durante a entrevista.

Quadro 8: Categorias de análise dos dados empíricos.

Categoria	Subcategoria	Finalidade da categoria
1. Conceitos sobre as analogias	1.1. Importância dada ao uso de analogias em sala de aula. 1.2. Prática com o uso de analogias	Compreender aspectos gerais das práticas de ensino e a relação entre essas e o uso de analogias
2. Analogias para o Ensino da Eletrodinâmica	2.1. Importância do uso de analogias na Eletrodinâmica. 2.2. Analogias para o Ensino de Eletrodinâmica.	Identificar fatores que levam os professores a estabelecer analogias para ensinar Eletrodinâmica.
3. Analogia entre os circuitos hidráulico e elétrico	3.1. Conhecimento da analogia entre os circuitos hidráulico e elétrico. 3.2. Vantagens e desvantagens dessa analogia	Identificar se os professores conhecem a analogia utilizada neste estudo e qual é o valor pedagógico dado a essa analogia.
4. Potencial de uso do modelo analógico prototipado	4.1. Predisposição à utilização do recurso apresentado. 4.2. Identificação dos elementos e relações existentes no modelo 4.3. Potencialidades de utilização.	Identificar a percepção dos professores quanto ao uso potencial do modelo prototipado em sala de aula e o entendimento das características apresentadas nesse modelo.
5. Limitações e desvantagens do modelo apresentado	5.1. Identificação de limitações e desvantagens do modelo. 5.2. Sugestão de melhorias	Identificar possíveis melhorias ou aspectos de atenção quanto ao possível uso do modelo analógico em sala de aula.
6. Ensino fundamentado em modelagem	6.1 Vantagens e desvantagens da mediação por modelos	Identificar a percepção dos professores das práticas educativas fundamentadas em modelagem.

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

O Quadro 8 expõe as seis categorias derivadas das sequências de perguntas aplicadas durante as entrevistas semiestruturadas. Cada sequência de perguntas foi elaborada com um propósito específico, visando a obtenção de informações importantes que orientaram a definição das categorias previamente mencionadas. Deve-se ressaltar que, devido à abordagem qualitativa empregada na análise dos resultados, as enumerações foram realizadas de maneira subjetiva. Isso implica que nossa análise não se concentrou na contagem de frequência de palavras específicas, mas sim na identificação de expressões cujos significados fossem relevantes para os objetivos da pesquisa. O tratamento dos dados foi conduzido com riqueza de detalhes, envolvendo a categorização das transcrições das interações discursivas, alinhando-as com as categorias delineadas no Quadro 8. Durante a entrevista, os participantes foram convidados ainda a examinar, por visualização 3D, o protótipo do modelo analógico, de forma a poder ter uma percepção de cada elemento contido no modelo e o funcionamento proposto do protótipo.

Com base nessas avaliações, realizamos uma análise das observações e comparações realizadas por cada professor. Esse procedimento permitiu a identificação das potencialidades e limitações apontadas por cada participante em relação ao recurso mediacional desenvolvido neste trabalho.

4.4. 4ª etapa: Mapeamento estrutural da analogia

Com base nas considerações teóricas e na representação inicialmente proposta por Gentner (1983) sobre as correspondências entre os domínios comparados, Ferry (2016 e 2018), complementado por Barbosa (2019), apresentou um sistema de símbolos para representar de maneira padrão as correspondências entre elementos, atributos e relações existentes em comparações. Esse sistema, conhecido como Mapeamento Estrutural das Comparações, foi adotado nesta pesquisa como um recurso enriquecedor para análise estrutural das comparações encontradas.

Neste esquema de representação, as correspondências entre os elementos de cada domínio são indicadas por setas bidirecionais, acompanhadas pela letra maiúscula "E" e identificadas por um número de ordem. As correspondências entre os atributos desses elementos também foram representadas por setas bidirecionais, acompanhadas pela letra "A", com um número de ordem e endereçada ao elemento diretamente relacionado. As relações foram representadas pelo mesmo sinal gráfico, acompanhadas pela letra minúscula "r" ou maiúscula "R". A letra minúscula representa uma relação de primeira ordem, enquanto a maiúscula representa uma relação de segunda ordem

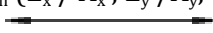
ou de ordem superior. Além dessas três entidades (elementos, atributos, relações), o mapeamento estrutural das comparações considera os conceitos de diferenças alinháveis e limitações do modelo, conforme descrito por Ferry (2016).

Ferry (2016) adota a nomenclatura de diferenças alinháveis e de limitações das analogias. Segundo o autor, fundamentado na teoria de Gentner (1983), as diferenças alinháveis são aspectos conectados a correspondências de similaridade, diferindo das limitações das analogias. Portanto, no sistema de notações do mapeamento estrutural proposto, as diferenças alinháveis são codificadas a partir dos códigos dados às correspondências a que se encontram conectadas, enquanto as limitações devem receber códigos distintos devido à condição em que a analogia não se aplica ou aos aspectos que não têm correspondência entre os dois domínios.

As diferenças alinháveis foram representadas nesse esquema por setas bidirecionais marcadas com um sinal gráfico semelhante à letra "X", acompanhada pela letra maiúscula "D" e identificadas pelo número da correspondência. Por sua vez, as limitações da comparação foram representadas pelo mesmo sinal gráfico, acompanhadas pela letra maiúscula "L" e um número que se refere a um novo elemento, atributo ou relação. O padrão de representação do Mapeamento Estrutural utilizado na análise, com os símbolos gráficos criados por Ferry (2016) e atualizado em Barbosa (2019), é apresentado no Quadro 9. Ainda sobre esse padrão, neste trabalho fizemos a mesma escolha feita Almeida; Almeida; Ferry (2018) utilizando, no lugar dos domínios base e alvo, o modelo e a entidade de interesse científico modelada, respectivamente.

Quadro 9: Padrão de representação utilizado nas correspondências no mapeamento estrutural de comparações

Domínio representante (modelo)	Representações das correspondências	Domínio representado (entidade de interesse científico)
Elementos do modelo	 E_n	Elementos da entidade representada
Elementos que compõem o modelo	Correspondências entre elementos devem ser representadas por setas bidirecionais acompanhadas pela letra E	Elementos que compõem a entidade de interesse científico
Atributos dos elementos do modelo	 $A_n (E_n)$	Atributos dos elementos da entidade representada
Predicados descritivos relevantes dos elementos mapeados no modelo	Correspondências entre atributos devem ser representadas por setas bidirecionais acompanhadas pela letra A;	Predicados descritivos relevantes dos elementos mapeados na entidade representada.

	Cada correspondência dessa natureza deve possuir um único argumento, ou seja, deve estar baseada em uma única característica.	
Relações de 1ª ordem do modelo	$r_n (E_x / A_x, E_y / A_y, \dots)$ 	Relações de 1ª ordem da entidade representada
Relações entre dois ou mais elementos do modelo ou entre suas características; relações de ordem estrutural que dizem respeito ao modo como os elementos do modelo estão dispostos entre si.	Correspondências entre relações de menor complexidade devem ser representadas por setas bidirecionais acompanhadas pela letra r (minúscula); Cada correspondência dessa natureza deve possuir, no mínimo, dois argumentos.	Relações entre dois ou mais elementos da entidade representada ou entre suas características; relações de ordem estrutural que revelam como os elementos dessa entidade estão dispostos entre si.
Relações de 2ª ordem do modelo	$^{nh}R_n ((nh-1)R, R_y / r_y / E_y / A_y, \dots)$ 	Relações de ordem superior de nível hierárquico ou grau 'nh' da entidade representada
Relações existentes entre relações do modelo, das quais ao menos uma se configura como uma relação de 2ª ordem.	Correspondências entre relações de maior complexidade devem ser representadas por setas bidirecionais acompanhadas pelo código nhR; Cada correspondência dessa natureza deve possuir ao menos uma relação de 2ª ordem como um de seus argumentos.	Relações existentes entre relações da entidade representada, das quais ao menos uma se configura como uma relação de 2ª ordem.
Determinados atributos ou relações do modelo	$D_n : [\dots]$ 	Determinados atributos ou relações da entidade representada
Características ou relações presentes no modelo, conectadas a pontos em correspondência, que são diferentes nos respectivos pontos na entidade representada.	Diferenças alinháveis As setas bi-direcionais devem ser marcadas com um sinal gráfico semelhante à letra X, e devem ser acompanhadas pela letra D.	Características ou relações presentes na entidade representada, conectadas a pontos em correspondência, que são diferentes nos respectivos pontos no modelo.
Elementos, Atributos ou Relações do modelo ausentes na entidade representada	$L_n : [\dots]$ 	Elementos, Atributos ou Relações da entidade representada ausentes no modelo
Condições do modelo para as quais a	Limitações da representação As setas bi-direcionais devem ser marcadas	Condições da entidade representada para as quais a

representação não se aplica; ou, elementos, atributos ou relações do modelo que não devem ser “transferidos” para a entidade representada.	com um sinal gráfico semelhante à letra X, e devem ser acompanhadas pela letra L.	representação não se aplica; ou, elementos, atributos ou relações da entidade que não encontram correspondência no modelo.
--	---	--

Fonte: Ferry (2016, 2018)

A partir do mapeamento estrutural do modelo analógico, que de certa forma reflete a estrutura de relações da analogia que o fundamenta, deduzimos a sua estrutura relacional comum, a fim de identificar como essas relações aparecem interconectadas e quais atributos e elementos mapeados que compõem, de fato, a estrutura dessa analogia. Conforme o nosso referencial teórico e metodológico, essa estrutura é constituída por um conjunto de expressões de concatenamento nas quais uma relação de ordem superior rege as conexões entre as relações de ordem inferior, que por sua vez conectam atributos e elementos similares também colocados em correspondência na analogia. Por meio dessa estrutura relacional comum também é possível identificar os atributos e elementos que, embora mapeados, não são fundamentais para o estabelecimento da analogia e, consequentemente, para a composição do modelo analógico.

4.5. 5ª etapa: Inferências sobre o potencial pedagógico do PRODMACE

Essa quinta e última etapa metodológica constitui-se como o ponto culminante da pesquisa, integrando e interpretando os resultados das etapas anteriores para inferir o potencial pedagógico do PRODMACE. Essa etapa é, portanto, um construto derivado da análise de conteúdo das entrevistas com professores e da análise do mapeamento estrutural do modelo prototipado. As inferências sobre o potencial pedagógico construídas nesta etapa visam contribuir para o entendimento do potencial e relevância do PRODMACE como uma ferramenta mediacional para o ensino de CBE.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Apresentaremos nessa seção a etapa de tratamento, inferência e interpretação dos resultados obtidos a partir da análise de conteúdo das entrevistas bem como a dos resultados do mapeamento estrutural. Esses resultados culminam na discussão final apresentada no final desta seção.

5.1. Análise de conteúdo

Com o intuito de apresentar uma sequência lógica e facilitar a leitura das análises, esta seção apresenta as inferências e interpretações relativos às categorias organizados em duas subseções: (5.1.1) Categorias 1, 2, 3 e 6 - Aspectos gerais sobre as analogias e práticas educativas com uso de modelos; (5.1.2) Categorias 4 e 5 - Percepções, potencialidades, limitações e sugestões de melhoria para o modelo analógico prototipado.

5.1.1. Aspectos gerais sobre as analogias e práticas educativas com uso de modelos:

Nesta seção analisamos respostas dadas pelos professores às perguntas que tinham como objetivo explorar não apenas o entendimento docente sobre o tema - analogias e modelos -, refletindo sobre o uso, planejamento e relevância nas práticas de sala de aula. mas também fazer um levantamento sobre o conhecimento dos docentes em relação à analogia entre os circuitos hidráulico e elétrico ou outras analogias utilizadas para o Ensino da Eletrodinâmica. Primeiramente, ressaltamos que todos os professores entrevistados apresentaram definições compatíveis aos que adotamos sobre a definição de analogia, conforme podemos ver nas transcrições a seguir:

Quadro 10a: Trechos da transcrição de respostas dos professores entrevistados à pergunta sobre como definem o termo analogia.

Professor 1: “[...] é quando eu tenho um fenômeno próximo daquele que eu quero explicar, de mais fácil compreensão para o aluno.”
Professor 2: “[...] analogia seria você pegar um exemplo diferente do exemplo que você está trabalhando, [...] aparentemente que não tem nada a ver, mas que a lógica por trás daquilo ali, os princípios são semelhantes [...]”
Professor 3: “Analogia é uma comparação entre dois elementos, uma base e o alvo. Sendo a base o conhecido, o alvo a se conhecer.”
Professor 4: “[...] uma comparação com alguma coisa que seja mais próxima do entendimento do estudante para ele atingir aquele nível de abstração de uma coisa que ele não consegue ver [...]”

Professor 5: “[...] uso de uma ideia que às vezes não tem relação com aquilo que você está querendo ensinar, mas [...] vai ajudar a esclarecer o conteúdo que você quer ensinar.”

Fonte: Dados da pesquisa

Nessas respostas iniciais podemos observar que o Professor 3 é o único que utiliza os termos que adotamos na pesquisa, com o domínio base sendo algo que já é conhecido comparado com o domínio alvo, entidade que se quer ensinar, demonstrando um provável conhecimento do referencial teórico adotado. Contudo, todos os outros professores indicaram, também em concordância com o nosso referencial que uma analogia é uma comparação entre duas entidades na qual queremos enfatizar similaridades entre elas. Outro ponto que destaco, é a fala do Professor 2 que diz que utiliza um exemplo diferente “aparentemente que não tem nada a ver, mas que a lógica por trás daquilo ali, os princípios são semelhantes”. Isso me faz inferir que o professor entende que não basta termos comparações de mera aparência para que essa comparação seja uma analogia, a “lógica” e os “princípios” citados pelo professor teriam mais associação com as relações dos dois domínios colocados em comparação.

Sobre considerar o uso de analogias um recurso importante para o Ensino de Física, as transcrições a seguir mostram que todos os entrevistados acham que é relevante o uso dessas comparações em sala de aula. Essa percepção compartilhada ressalta a importância atribuída pelos professores à utilização de comparações analógicas como uma boa estratégia didática que auxilia a compreensão dos conceitos da Física.

Quadro 10b: Trechos da transcrição de respostas dos professores entrevistados à pergunta sobre recorrência do uso de analogias.

Professor 1: “Toda hora tenho alguma analogia para fazer.”
Professor 2: “[...] quanto mais abstrato for, acho que a analogia vai ficando mais interessante.”
Professor 3: “[...] as pessoas que têm dificuldade na percepção do abstrato. [...] Então, a analogia é fundamental você tentar mostrar algo real e concreto para explicar o abstrato.”
Professor 4: “[...] a analogia precisa ser muito bem escolhida. Não pode ser qualquer analogia, porque ela tem que fazer sentido do ponto de vista mais concreto para o estudante [...]”
Professor 5: “[...] gosto de usar a analogia até quando eu mesmo vou aprender, até mesmo quando eu estou estudando algo da Física. Então, eu uso analogias para conseguir visualizar alguns conceitos, principalmente em se tratando de conceitos muito mais abstratos. Então, eu acho que pode ser muito útil para o aluno conseguir visualizar.”

Fonte: Dados da pesquisa

Nessas falas podemos ver alguns professores relacionando a explicação de algo que é muito abstrato, ou seja, o domínio alvo, a partir do entendimento de algo mais concreto, que seria o domínio base. Entretanto, no Ensino de Física nem sempre, ao recorrermos às analogias, é possível ter um domínio base que poderíamos chamar de concreto. É comum, por exemplo, fazermos analogias dentro do próprio domínio da Física, como as comparações entre campos gravitacionais e elétricos. Outro exemplo, detalhado mais a frente, é a analogia que estrutura a construção do modelo analógico apresentado neste trabalho, uma comparação entre os circuitos hidráulico e elétrico. Apesar da concretude desse modelo ser uma possibilidade, ele ainda traz conceitos com alto grau de abstração como a relação entre a diferença de potencial gravitacional e o fluxo de água. Portanto no uso de analogias desse tipo têm-se que verificar a compreensão dos estudantes sobre o domínio base para garantir a efetividade da analogia. Dos trechos anteriores, a fala do Professor 5 é bem interessante, pois ele fala do próprio aprendizado, dizendo que ele mesmo, quando um momentos de estudos, usa analogias para o auxiliar na visualização de conceitos que ele considera “muito abstratos”.

Quando perguntados sobre como são as práticas didáticas com uso de analogias, quatro dos cinco professores entrevistados responderam que planejam as analogias a serem utilizadas, entretanto, como enfatizou o Professor 1, “as analogias que saem na hora da aula, às vezes nem são aquelas que eu planejo; saem espontâneas [...] só que o que sai às vezes eu improviso, que depende da pergunta do aluno; depende do que o aluno vai falar, depende de como a turma vai entender”, ou ainda o Professor 5 - “na hora que eu estou preparando a aula, eu já estruturo uma linha de raciocínio e automaticamente eu já penso nas analogias que eu posso fazer; mas é claro, invariavelmente o aluno faz uma pergunta que às vezes eu não estava esperando para aquele momento, então eu às vezes recorro à analogia espontânea, alguma coisa que pode ajudar a compreender aquilo ali; ou eu às vezes planejo usar uma analogia e pela pergunta do aluno eu acabo caminhando para outro tipo de analogia”.

Como já exposto na seção sobre a revisão de literatura feita para esta dissertação, o conteúdo da Eletrodinâmica é o tema com o maior número de estudos sobre o uso de analogias, entre os temas trabalhados na Física da Educação Básica. Essa constatação norteou as perguntas da entrevista para saber a opinião dos professores sobre o motivo desse grande número de estudos e se os professores consideram que a Eletrodinâmica oferece algum desafio particular em relação a outros conteúdos da Física. Os trechos extraídos das transcrições das respostas estão presentes no Quadro 10c.

Quadro 10c: Trechos da transcrição de respostas dos professores entrevistados à pergunta sobre o motivo da Eletrodinâmica ter muitos estudos sobre o uso de analogias.

Professor 1: “[...] por causa dessa coisa microscópica. Parece uma caixa preta, o circuito elétrico. [...] Já as leis de Newton, essa ensinar mecânica, é muito direto. Você vê a colisão acontecendo, você vê as coisas acontecendo, a ótica, você vê a luz refratando...”

Professor 2: “Imagino que seja pela abstração mesmo dessa parte, né, de envolver campos, da gente estar falando ali de conceitos complicados, né, como resistência elétrica, diferença de potencial e a própria partícula ali, o elétron não ser algo tão concreto quanto um bloco [...] ”

Professor 3: “[...] na eletrodinâmica, você tem muita abstração. É muita. Então, fica mais difícil o sujeito perceber.”

Professor 4: “[...]um conceito que é muito difícil de fazer a transposição didática, que eu acho é o conceito de diferença de potencial, de potencial elétrico. Isso é uma coisa difícil [...] porque você lida com uma coisa que é extremamente abstrata. Você fala em corrente elétrica, você fala em movimento de carga elétrica e é algo que você não vê. O circuito está lá funcionando, você vê os efeitos daquilo, mas você não vê ali a corrente passando, você não vê o elétron perdendo energia, você não vê nada disso. Então como você lida com muito conceito que é extremamente abstrato, talvez por isso a procura por analogias com coisas mais palpáveis.”

Professor 5: “[...] apesar de que você muitas vezes consegue visualizar efeitos, você tem uma questão aí que é um modelo muito... uma coisa muito abstrata, corrente elétrica. [...] ”

Fonte: Dados da pesquisa

Como explicitado, todos os professores atribuem ao elevado grau de abstração da Eletrodinâmica o fato de ser esse um tema recorrente nas pesquisas sobre o uso de analogias no Ensino de Física. Destaco, todavia, um outro aspecto levantado pelos Professores 4 e 5: ambos falam sobre a facilidade em ver um circuito elétrico funcionando, ou os seus efeitos; no entanto, conceitos microscópicos como a corrente elétrica não podem ser visualizados. Retomaremos essa questão posteriormente na discussão do potencial pedagógico do modelo analógico.

Foi perguntado aos professores sobre o conhecimento deles a respeito da analogia entre um circuito hidráulico e um circuito elétrico e ainda sobre outras analogias empregadas para o Ensino da Eletrodinâmica. Três entrevistados, além de conhecerem a analogia hidráulico-elétrica, mencionaram outras comparações entendidas como analogias por eles:

Quadro 10d: Trechos da transcrição de respostas dos professores entrevistados à pergunta sobre analogias que eles conhecem para a Eletrodinâmica diferentes da hidráulico-elétrica.

Professor 2: “Você pega aqui uma bolinha, né, aí o papel da pilha, uma pessoa, sei lá, faz um

trabalho para erguer a bolinha, aí a energia potencial gravitacional vai se transformando em cinética, né. Você pode botar um atrito para simular o efeito Joule aí. Essa é uma analogia bem clássica dos livros de Física, né, que a gente acaba naturalmente utilizando bastante,[...] ”

Professor 4: “[...] eu costumo fazer analogia com eles, usando a própria porta. Eu falo assim, na hora que tocar o sinal, vocês vão sair para casa passando por essa porta. Então vai ter um fluxo de pessoas por essa porta. Se eu pego e reduzo a área dessa porta pela metade, eu estou aumentando a resistência à passagem das pessoas [...] E se eu dobro a área dessa porta?”

Professor 5: “[...] eu uso muito analogia de trânsito, até porque esse ano eu dei aula para uma turma de estradas e trânsito, então eu, até para tornar a coisa um pouco mais próxima do que eles trabalham [...] ”

Fonte: Dados da pesquisa

Isso demonstra que na realidade de docência desses professores, a Eletrodinâmica é um campo onde o uso de analogias é frequente e que facilmente conseguimos catalogar diferentes comparações utilizadas no cotidiano escolar. Das analogias citadas, a fala do Professor 5 é muito interessante, pois ele fala do uso de uma analogia escolhida pensando no curso técnico da turma que ele leciona e que, segundo ele, seria uma estratégia para tornar o que está sendo explicado mais próximo dos estudantes. Nessa fala o professor ressalta a relevância do entendimento e do interesse pelo domínio base para potencializar a construção e a transposição de similaridades entre os domínios envolvidos.

Um aspecto comum de todas as analogias, que já foi exposto em nosso referencial teórico, é que todas as comparações analógicas tem as suas limitações, tem aspectos que não encontram correspondências de similaridades. Podemos ver em falas como as do Professor 3 que essa é uma característica conhecida e relevante: “[...] quando você abre um circuito elétrico, as cargas param de se mover. Quando você abre uma torneira, um furo, um tubo, uma broca, por exemplo, uma parede, a água continua fluindo. Então, essa é uma diferença básica. São coisas que têm que ser analisadas”.

5.1.2. Percepções, potencialidades, limitações e sugestões de melhoria para o modelo analógico prototipado.

Para essa etapa da entrevista, antes de começar as perguntas e a gravação de áudio apresentamos o modelo analógico prototipado digitalmente em um arquivo em formato PDF mas que permite a visualização em 3 dimensões. Os professores participantes foram incentivados a manipular o protótipo de forma a observarem cada elemento e o modelo em sua integralidade a partir de diversas vistas. Foi um momento em que os professores puderam fazer perguntas tanto em relação aos elementos constituintes do modelo, caso algum elemento não tivesse sido identificado,

quanto de dúvidas sobre a manipulação do arquivo. Contudo, demais perguntas sobre as funcionalidades ou observações foi pedido para que aguardassem o início da gravação de áudio e das perguntas da entrevista.

De maneira geral, todos os entrevistados conseguiram identificar os elementos que constituem o modelo e demonstraram interesse em utilizá-lo em sala de aula, adicionando em suas falas ideias sobre possibilidades de utilização. Sobre esse interesse, o Quadro 10e destaca alguns trechos.

Quadro 10e: Trechos da transcrição de respostas dos professores entrevistados à pergunta sobre se eles teriam interesse em utilizar o modelo analógico em suas aulas de Eletrodinâmica.

Professor 1: “[...] daria o modelo para o menino e pediria para ele fazer um roteiro exploratório para ele tentar identificar o que é isso, o que é aquilo, como funciona. Mas num primeiro momento não relacionando com a eletrodinâmica. Só fazendo, olha, o que é isso? Isso é o fluxo que vai passar ali, o que é isso? Isso e aquilo. Aí depois você faria um segundo momento de exploração, onde você tentaria pescar os conceitos de eletrodinâmica dentro do modelo hidrodinâmico. [...] acho que ia ser mais interessante, em vez desse modelo pronto, levar para a sala, fazer uma coisa maker. Pegar pequenos pedaços, talvez fazer uma coisa bem mais de baixo custo e dar uma oficina para eles montarem.”

Professor 2: “[...] tendo um protótipo desse, sei lá, na escola, no laboratório, você está levando a sala de aula, com certeza eu teria interesse de levar.”

Professor 3: “[...] Com certeza o usaria em sala de aula [...]”

Professor 4: “[...] se você construir uma coisa mais robusta, que ele consegue ver de lá de onde ele está sentado, a água fluindo, aquela coisa toda, é mais interessante. Então depende da proposta. Você pode construir vários, ir para o laboratório para cada grupo manipular o seu modelo, ou você pode construir uma coisa mais robusta que você consegue levar para a sala na forma de uma demonstração. Ele vê o funcionamento. As duas possibilidades são interessantes.”

Professor 5: “[...] eu já pensei inclusive em uma aula específica que é quando você fala daquela equação do circuito em que você faz a soma das energias a energia que o elétron ganha na bateria e a energia que ele vai perdendo ao longo dos vários pontos do circuito de resistência, de gerador e tudo mais eu pensei nesse momento. Um dos momentos como possível.”

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Além dessa indicação de uso do modelo analógico no caso hipotético deste estar disponível aos professores, conduzimos a segunda parte da entrevista para, principalmente, coletar as impressões desses professores, o relato das vantagens pedagógicas quanto ao uso do recurso em

sala de aula, críticas e sugestões de melhorias. No que diz respeito à indicação de vantagens de uso, os trechos a seguir ilustram a opinião dos entrevistados:

Quadro 10f: Trechos da transcrição de respostas dos professores entrevistados à pergunta sobre quais eram as vantagens que eles identificavam no possível uso do modelo.

Professor 1: “[...] A vantagem é que o aluno vai visualizar. Ele não vai precisar já direto mexer com conceitos de eletrodinâmica. [...] Você vai despertar uma outra área de conhecimento. Você vai expandir o campo conceitual deles [...] eu acho que esse modelo vai funcionar ótimo. Corrente contínua, um circuito ligado num resistor.”

Professor 2: “[...] a vantagem é facilitar a aprendizagem, uma vez que você vai usar uma analogia mecânica, né, que costuma ser mais palpável. Tem o ganho também de reforçar a Física básica lá da mecânica, que é sempre bom, né. Revisitar a Física anterior também, mesmo não estando no programa da série, é sempre interessante.”

Professor 3: “A vantagem que eu vejo é que é uma coisa concreta e fácil de ser demonstrada em sala de aula. Você pode, inclusive, pôr para funcionar isso com água, funcionar montando o elemento. E pelo que eu vejo ali, é transparente as mangueiras que você está usando. Se você usa um líquido colorido, facilita mais ainda para o sujeito ver o fluxo.”

Professor 4: “[...] A vantagem é que eu acho que a questão hidráulica é mais palpável. O menino realmente consegue enxergar um fluxo de água ali, aquela coisa toda. Quando você interrompe o fluxo, quando você dificulta o fluxo, isso aí fica bem visível. Então isso é uma vantagem.”

Professor 5: “[...] eu vejo como positivo justamente por mostrar essas questões assim. Até fazer a analogia de como que é o funcionamento interno de uma pilha. O que significa ela fornecer energia elétrica para um circuito? E como que os elétrons vão circulando o circuito, né? E aí vão ganhando energia na pilha e perdendo energia no circuito.”

Fonte: Dados da pesquisa

Podemos observar nas falas dos 4 primeiros professores que ambos consideram que o fator materialidade contida no modelo como algo positivo e que o fato de os estudantes conseguirem visualizar o fluxo hidráulico do modelo pode auxiliar, por analogia, o entendimento dos conceitos envolvidos no circuito elétrico. Pensando nos processos de modelagem e nas representações que provavelmente são levadas para a sala de aula para o ensino de CBE, podemos afirmar que o uso de representações de um circuito elétrico simples é um recurso empregado por vários docentes. Todavia, o modelo analógico aqui proposto traz a possibilidade de identificação de conceitos importantes como a relação entre a diferença de potencial com a corrente elétrica, o que extrapola a limitação imposta à observação direta dos elementos microscópicos com por exemplo o movimentos de cargas elétricas. Sendo esse um dos fatores observados que fez todos os professores

entrevistados apontarem que o uso do modelo prototipado é, na visão deles, vantajoso para o ensino de CBE.

A seguir destacamos os trechos em que os professores indicam quais seriam os conceitos que eles abordariam em um uso hipotético do modelo analógico em sala de aula.

Quadro 10g: Trechos da transcrição de respostas dos professores entrevistados à pergunta sobre quais conceitos abordariam em um possível uso do modelo.

Professor 1: “[...] diferença de potencial, corrente elétrica, resistência elétrica.”
Professor 2: “[...] tendo um protótipo desse, sei lá, na escola, no laboratório, você está levando a sala de aula, com certeza eu teria interesse de levar.”
Professor 3: “[...] eu faria um estudo da bateria, a bateria a parte eletroquímica diferença de potencial, às vezes até trabalhando junto com o professor de química para fazer o estudo eletroquímico da bateria. [...] Dentro da eletrodinâmica, o movimento de cargas, quase todos, eu não vejo nenhum que escaparia dessa situação.”
Professor 4: “[...] poderia ser empregado na parte que eu penso, na introdução à eletrodinâmica para explicar a questão de como você tem um fluxo de cargas. E no caso você começa a fazer as condições para você ter um fluxo de água e aí você vai fazendo a analogia entre o fluxo de água e o movimento de cargas elétricas. A diferença de potencial gravitacional e a diferença de potencial elétrico.”
Professor 5: “[...] eu já pensei inclusive em uma aula específica que é quando você fala daquela equação do circuito em que você faz a soma das energias a energia que o elétron ganha na bateria e a energia que ele vai perdendo ao longo dos vários pontos do circuito de resistência, de gerador e tudo mais eu pensei nesse momento. Um dos momentos como possível.”

Fonte: Dados da pesquisa

A partir dos destaques anteriores, podemos dizer que para os professores, o modelo analógico apresentado pode ser utilizado para as aulas referentes ao estudo dos conceitos de diferença de potencial, corrente elétrica e resistência elétrica, bem como para tratar da função da bateria em um circuito elétrico. Mais a frente, ainda neste capítulo, esses apontamentos dos entrevistados foram correlacionados às relações mapeadas no modelo, de acordo com a TME. Procuramos investigar também quais foram as desvantagens percebidas pelos professores quanto a um possível uso do modelo em sala de aula e ainda que propusessem melhorias ao modelo. Algumas das ideias por eles expressas são mostradas nas transcrições a seguir:

Quadro 10h: Trechos da transcrição de respostas dos professores entrevistados à pergunta sobre se eles identificaram desvantagens em um possível uso do modelo.

Professor 1: “[...] Acho que quando você começa a colocar o circuito complexo demais, você perde muito tempo para explicar o modelo analógico do que o fenômeno que eu quero. Então ele acaba sendo um empecilho em vez de facilitador.”

Professor 2: “A desvantagem [...] é o tempo. Você tem um tempo maior para preparar. Por quê? Para eu fazer uma boa analogia, eu tenho que saber qual é o conhecimento prévio dos meus alunos. Para eu fazer uma analogia baseada naquilo que eles saibam.”

Professor 3: “A desvantagem que poderia ser é o sujeito não compreender. [...] Desvantagem eu não vejo, sim, por isso que eu digo. Pelo contrário, eu vejo só vantagem você tentar mostrar de forma concreta uma coisa que é muito abstrata.”

Professor 4: “A desvantagem é que você tem alguns detalhes aqui, por exemplo, que depois, igual a bateria que vai ter uma resistência interna, não dá para você mostrar isso nessa analogia do circuito hidráulico. Aquela ideia que você falou de manter sempre a diferença de potencial constante. Pode ser que você não consiga esse ajuste para manter essa diferença de potencial constante. Ela pode, de repente, encher mais do que devia ou encher menos do que devia. Então são limitações que fazem parte da analogia mesmo. Toda vez que você vai usar a analogia, você vai ter algumas limitações.”

Professor 5: “[...] eu pensei aqui como ponto negativo é talvez qual é o tamanho disso aí, né? A dificuldade talvez de ficar... a portabilidade, né? Ficar levando e... É um trabalho que tem que ser feito com muito cuidado tipo, para não ter vazamentos, não ter... A construção tem que ser uma construção de certa forma robusta.”

Fonte: Dados da pesquisa

Sobre o apontamento de desvantagens presentes quanto ao possível uso do recurso, os professores 1 e 2 mostram uma preocupação quanto ao tempo necessário para utilizá-lo, pois segundo eles, precisa-se de uma certa preparação, como a apresentação da analogia e certificar que o domínio base foi compreendido pelos estudantes. Esse último ponto também é uma preocupação do Professor 3 que diz que “A desvantagem que poderia ser é o sujeito (estudante) não compreender”.

Quadro 10i: Trechos da transcrição de respostas dos professores entrevistados à pergunta sobre indicações de melhoria ao modelo.

Professor 3: “[...] eu faria se fosse trabalhar com ele, seria isso, um líquido colorido, ou até mesmo aí já é utopia, né? O líquido sair água comum, corpo normal, e eu passar por cada elemento, ele sairia de uma outra cor, e juntasse lá embaixo, aí dá para você ver a quantidade que passa um e

passa no outro. E até um quantizador de quanto passou um e passou no outro, se você tivesse condições de aumentar a resistência interna dele, ou seja, a resistência dentro desses caminhos, aí você reduz o fluxo de um, fluxo de outro.”

Professor 5: “Olha, essa coisa de você construir algo para levar para a sala de aula é muito legal mas talvez eu faria um modelo maior [...] seria interessante fazer a coisa em módulos então você criaria os módulos tipo, ou só do fio, que seria a mangueira fio com resistor, que seria o vermelho e que você poderia ir acoplando então você quer fazer três resistores em paralelo então está aqui você quer fazer dois resistores em série então você acopla ali talvez eu pensaria em uma coisa dessa e que fosse fácil você encaixar um no outro aí você modificaria o circuito.

Fonte: Dados da pesquisa

Já sobre a indicação de melhorias para o modelo prototipado apresentado aos professores, destacamos o que foi falado por 2 entrevistados. Na fala do Professor 3 temos a indicação de uso de um líquido colorido que permitiria uma melhor visualização do fluxo de água pelo circuito hidráulico. Achamos que uma sugestão interessante e fácil de ser aplicada em um possível materialização desse recurso. O professor continua sinalizando outras mudanças, chamadas por ele de utópicas, que seria a mudança de cor do líquido quando na passagem por elementos do circuito. Também consideramos essa proposição como interessante, todavia difícil de ser implementada em um modelo físico. O Professor 5 sugere que na construção do modelo físico, este deveria ser construído de modo a permitir a montagem e desmontagem por módulos. Isso permitiria fazer diferentes configurações de circuitos com elementos em série e em paralelo, sendo uma proposta que traz a possibilidade de explorar ainda mais as características dos circuitos e poderia ser viável em uma materialização do modelo com o uso de dispositivos hidráulicos de engate rápido, porém pode aumentar os pontos de possíveis vazamentos do líquido.

Os trechos das entrevistas em destaque a seguir referem-se à última categoria de análise cuja finalidade é a identificação da percepção dos professores sobre as práticas educativas fundamentadas em modelagem.

Quadro 10j: Trechos da transcrição de respostas dos professores entrevistados à pergunta sobre como eles percebiam as práticas fundamentadas em modelagem.

Professor 1: “[...] acho que você tem uma expansão de aprendizado. Essa experiência de você fazer, por exemplo, uma analogia com o modelo físico, você cria, primeiro que você cria uma cultura de tocar. O aluno gosta de tocar, pegar algo, você materializa algo. Então, você aumenta o conhecimento, porque você vai ter mais um canal que vai entrar informação. Não é só visual, não é só auditiva, é também sinestésico.”

Professor 2: “[...] Faz muita diferença, quando você leva alguma coisa para a sala de aula, de um

experimento, de uma demonstração, de um protótipo, a interação com os alunos é muito diferente de uma aula teórica tradicional.”

Professor 3: “Todo o ensino, principalmente aquele conhecimento que é abstrato, ele tem que ser feito em modelagem, não tem jeito. E se você conseguir fazer os modelos tanto matemáticos quanto concretos, ajuda muito.”

Professor 4: “Eu percebo que os alunos ficam mais receptivos e mais curiosos para entender aquela situação. Porque quando você chega só lá no quadro e fica só explicando em cima de conceitos e tudo mais. [...] Então quando você vem com algo material que tem um resultado que é um pouco surpreendente para ele, eu acho que você consegue mobilizar o estudante para ele poder participar mais da aula e tudo mais..”

Professor 5: “[...] eu acho que usar os modelos até simulações computacionais eu acho que é uma forma muito boa do aluno visualizar o que está acontecendo [...]”

Fonte: Dados da pesquisa

De acordo com o que foi dito pelos professores, todos eles consideram que as práticas de ensino com a utilização de modelos, sejam eles os físicos e concretos, como o que se propõe ser o modelo apresentado, ou até modelagens computacionais, como o destacado pelo Professor 5, podem ajudar os estudantes no processo de construção de significados de conceitos com alto grau de abstração. Citam que, com a apresentação de modelos, os estudantes ficam mais receptivos e curiosos quanto à situação apresentada e que a sala de aula se torna mais dinâmica e interessante.

Na seção subsequente deste capítulo apresentamos os resultados obtidos pelo mapeamento estrutural do modelo analógico. Posteriormente, na seção final do capítulo apresentamos as inferências da análise do conteúdo das entrevistas de acordo com as categorias de análise apresentadas, relacionamos essas inferências com os resultados do mapeamento estrutural e discutiremos sobre o potencial pedagógico do modelo analógico prototipado.

5.2. Mapeamento Estrutural

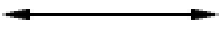
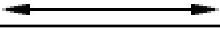
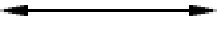
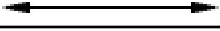
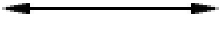
Apresentamos nesta seção o mapeamento estrutural do protótipo do modelo analógico construído de maneira a permitir uma análise estrutural das relações analógicas estabelecidas.

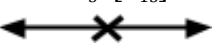
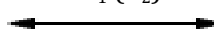
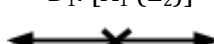
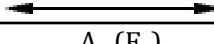
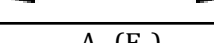
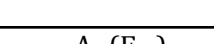
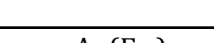
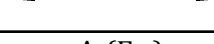
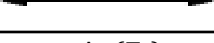
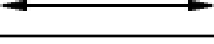
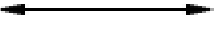
O mapeamento mostrado a seguir tem a intenção de apontar as correspondências entre os elementos, predicados (atributos e relações) e diferenças alinháveis relevantes ao contexto de ensino e aprendizagem dos conceitos básicos em Eletrodinâmica encontrados no PRODMACE. Além disso, pode indicar as possíveis limitações na comparação entre os domínios. Esse mapeamento

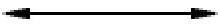
pode indicar que o modelo prototipado apresenta ou não um potencial analógico em consonância com a TME.

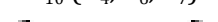
Para a realização do mapeamento estrutural, utilizamos o software “Sistema para Mapeamento Estrutural de Analogias” (MAPES). O MAPES é um software desenvolvido por Barbosa (2019) com o propósito de favorecer a construção e investigação das características estruturais de comparações. O mapeamento estrutural resultante desse processo é apresentado no Quadro 11.

Quadro 11: Mapeamento estrutural do protótipo digital do modelo analógico

Domínio representante (modelo)	Correspondências	Domínio representado (entidade de interesse científico)
Circuito Hidráulico	E_1 	Circuito Elétrico
Água	E_2 	Cargas elétricas
Reservatório em posição mais elevada	E_3 	Terminal positivo da Bateria (Cátodo)
Reservatório no nível da base	E_4 	Terminal negativo da bateria (Ânodo)
Conjunto dos 2 reservatórios hidráulicos	E_5 	Bateria Elétrica
Válvula (torneira) X	E_6 	Disjuntor (interruptor) X
Válvula (torneira) Y	E_7 	Disjuntor (interruptor) Y
Tubulação Hidráulica	E_8 	Fiação elétrica
Potencial Gravitacional	E_9 	Potencial Elétrico
Controlador de fluxo X	E_{10} 	Lâmpada (resistor) X
Controlador de fluxo Y	E_{11} 	Lâmpada (resistor) Y
Controlador de fluxo Z	E_{12} 	Lâmpada (resistor) Z
Bomba hidráulica	$L_1: [E_{13}]$ 	Não representa elemento algum do circuito elétrico.

Não há elemento no modelo que representa esse separador.	$L_2: [E_{14}]$ 	Separador interno entre os terminais da bateria
Não há elemento no modelo que representa esse separador.	$L_3: [E_{15}]$ 	Eletrólito (p.ex.: alcalino) no interior da bateria
Fluxo de água	$A_1 (E_2)$ 	Fluxo de cargas elétricas (ou corrente elétrica)
O fluxo de água no circuito hidráulico tem apenas o sentido de fluxo real.	$D_1: [A_1 (E_2)]$ 	Nos circuitos elétricos há dois sentidos para corrente elétrica: o do fluxo real das cargas e o convencional.
Diferença de potencial gravitacional	$A_2 (E_9)$ 	Diferença de potencial elétrico
Diâmetro da tubulação hidráulica	$A_3 (E_8)$ 	Diâmetro da fiação elétrica
A resistência hidráulica é uma propriedade do circuito hidráulico.	$A_4 (E_1)$ 	A resistência elétrica é uma propriedade do circuito elétrico.
Possíveis ajustes do controlador de fluxo X	$A_5 (E_{10})$ 	Possíveis valores de resistência elétrica da lâmpada X
Possíveis ajustes do controlador de fluxo Y	$A_6 (E_{11})$ 	Possíveis valores de resistência elétrica da lâmpada Y
Possíveis ajustes do controlador de fluxo Z	$A_7 (E_{12})$ 	Possíveis valores de resistência elétrica da lâmpada Z
Características físicas da tubulação	$A_8 (E_8)$ 	Características físicas da fiação
Entre os dois reservatórios há uma diferença de potencial gravitacional	$r_1 (E_3, E_4, A_2)$ 	Entre os dois terminais da bateria há uma diferença de potencial elétrico
Entre os dois reservatórios (E_3 e E_4) há uma bomba hidráulica (E_{13}) responsável pela manutenção da diferença de potencial gravitacional (A_2) praticamente constante entre eles. *Código da limitação no modelo: $L_4: [R_1 (r_1, E_{13})]$	$L_4: [R_1^*]$ 	Entre o Cátodo (E_3) e o Ânodo (E_4) de uma bateria alcalina (E_5), por exemplo, há um separador (E_{14}) e um eletrólito alcalino (E_{15}), que apesar de suas funções eletroquímicas, não mantém a diferença de potencial elétrico (A_2) constante entre os terminais da bateria. Esta diferença decresce à medida que a bateria descarrega. *Código da limitação no circuito elétrico: $L_4: [R_1 (r_1, E_{14}, E_{15})]$

O reservatório da posição mais elevada tem água a um potencial gravitacional maior do que o potencial da água do reservatório que está no nível do solo.	$r'_1 (E_3, E_4, A_2)$ 	O terminal positivo (cátodo) tem cargas elétricas a um potencial elétrico maior do que o potencial das cargas do terminal negativo (ânodo).
A diferença de potencial gravitacional entre os reservatórios (r_1) é a responsável pelo fluxo de água no circuito (A_1).	$R_2 (r_1, A_1)$ 	A diferença de potencial elétrico entre os terminais da bateria (r_1) é a responsável pelo fluxo de cargas elétricas no circuito (A_1).
As torneiras (E_6 e E_7) podem cessar o fluxo de água (A_1).	$r_2 (E_6, E_7, A_1)$ 	Os interruptores (E_6 e E_7) podem cessar o fluxo de cargas elétricas (A_1).
Para interromper o fluxo de água (A_1) fecha-se a torneira (E_6, E_7).	$D_2: [r_2(E_6, E_7, A_1)]$ 	Para interromper a corrente elétrica (A_1) abre-se o interruptor (E_6, E_7).
Características físicas da tubulação (A_8 ; p.ex.: diâmetro – A_3) alteram a resistência hidráulica (A_4) do circuito.	$r_3 (A_8, A_4)$ 	Características físicas da fiação (A_8 ; p.ex.: diâmetro – A_3) alteram a resistência elétrica (A_4) do circuito.
A inserção de controladores (E_{10} , E_{11} e E_{12}) de fluxo no circuito aumenta a resistência hidráulica (A_4) em cada trecho onde eles são inseridos, alterando a resistência hidráulica total.	$r_4 (E_{10}, E_{11}, E_{12}, A_4)$ 	A inserção de lâmpadas (E_{10} , E_{11} e E_{12}) no circuito aumenta a resistência elétrica (A_4) em cada trecho onde ele é inserido, alterando a resistência elétrica total.
O circuito hidráulico (E_1) está delimitado pela tubulação hidráulica (E_8).	$r_5 (E_1, E_8)$ 	O circuito elétrico (E_1) está delimitado pela fiação elétrica (E_8).
A água (E_2) flui através da tubulação hidráulica (E_8).	$r_6 (E_2, E_8)$ 	As cargas elétricas (E_2) fluem através da fiação elétrica (E_8).
A água não é constituinte da tubulação hidráulica. A tubulação contém a água que passa por ela.	$D_3: [r_6 (E_2, E_8)]$ 	As cargas elétricas são constituintes do próprio material da fiação elétrica.
Uma maior resistência hidráulica (A_4) do circuito resulta em um menor fluxo de água (A_1).	$r_7 (A_4, A_1)$ 	Uma maior resistência elétrica (A_4) do circuito resulta em um menor fluxo de cargas elétricas (A_1).
Se apenas a torneira X ou Y (E_6 ou E_7) estiver aberta, o fluxo de água (A_1) que passa pelos controladores de fluxo X ou Y (E_{10} ou E_{11}), respectivamente, e Z (E_{12}) terá o mesmo valor.	$r_8 (E_6/E_7, A_1, E_{10}/E_{11}, E_{12})$ 	Se apenas a chave X ou Y (E_6 ou E_7) estiver fechada, a corrente elétrica (A_1) que passa pelas lâmpadas X ou Y (E_{10} ou E_{11}) e Z (E_{12}) terá o mesmo valor.

Se as torneiras X (E_6) e Y (E_7) estiverem abertas, o fluxo de água (A_1) que passa pelo controlador de fluxo Z (E_{12}) será a soma dos fluxos que passam pelos controladores de fluxo X (E_{10}) e Y (E_{11})	$r_9 (E_6, E_7, A_1, E_{10}, E_{11})$ 	Se as chaves X (E_6) e Y (E_7) estiverem fechadas, a corrente elétrica (A_1) que passa pela lâmpada Z (E_{12}) será a soma das correntes que passam nas lâmpadas X (E_{10}) e Y (E_{11}).
O sentido do fluxo de água (A_1) no circuito hidráulico será do reservatório de maior potencial gravitacional para o reservatório de menor potencial gravitacional – r'_1 .	${}^2R_3 (A_1, r'_1)$ 	O sentido convencional da corrente elétrica (A_1) no circuito elétrico será do terminal positivo, de maior potencial elétrico, para o terminal negativo, de menor potencial elétrico – r'_1 .
A resistência total do circuito (A_4) é menor com as 2 torneiras (E_6 e E_7) abertas do que com apenas 1 torneira aberta	$r_{10} (A_4, E_6, E_7)$ 	A resistência total do circuito (A_4) é menor com os 2 disjuntores (E_6 e E_7) ligados do que com apenas 1 disjuntor ligado.
Sem a inserção do conjunto dos dois reservatórios (E_5) não haveria fluxo de água (A_1) no circuito hidráulico (E_1) apresentado.	$r_{11} (E_1, E_5, A_1)$ 	Sem a inserção da bateria (E_5) não haveria fluxo de cargas (A_1) no circuito elétrico (E_1) apresentado.
Os possíveis ajustes dos controladores de fluxo ($A_5/A_6/A_7$) alteram o fluxo de água (A_1) no circuito.	$r_{12} (A_5/A_6/A_7, A_1)$ 	Possíveis valores de resistência elétrica da lâmpada ($A_5/A_6/A_7$) alteram o fluxo de cargas elétricas (A_1) no circuito.
Uma maior diferença de potencial gravitacional entre os reservatórios (r_1) resulta em um maior fluxo de água (A_1) no circuito.	${}^2R_4 (r_1, A_1)$ 	Uma maior diferença de potencial elétrico entre os terminais (r_1) resulta em uma maior corrente elétrica (A_1) no circuito.
O fluxo de água (A_1) desse circuito simples depende de dois fatores: da diferença de potencial gravitacional entre os reservatórios (r_1) – R_2 , e da resistência hidráulica total (A_4).	${}^3R_5 ({}^2R_2, A_4)$ 	O fluxo de cargas (A_1) desse circuito simples depende de dois fatores: da diferença de potencial elétrico entre os terminais (r_1) – R_2 , e resistência elétrica total (A_4).
O valor de fluxo de água (A_1) que passa pelo controlador de fluxo Z (E_{12}), em qualquer configuração de abertura das torneiras X (E_6) e Y (E_7), demonstra que não há consumo de água nos trechos anteriores do circuito.	$r_{13} (A_1, E_{12}, E_6, E_7)$ 	O valor de fluxo de cargas elétricas (A_1) que passa pela lâmpada Z (E_{12}), em qualquer configuração de fechamento dos interruptores X (E_6) e Y (E_7), demonstra que não há consumo de carga elétrica nos trechos anteriores do circuito.

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

A partir do mapeamento estrutural do modelo do circuito elétrico baseado na analogia com o circuito hidráulico apresentado no Quadro 11, podemos observar que foi identificado um maior número de elementos, de atributos e de relações do que as quantidades levantadas nos livros didáticos, apresentadas nas Tabelas 2, 3 e 4. No mapeamento, foram registradas correspondências de similaridade entre 12 elementos, 8 atributos e 17 relações em cada domínio da analogia que fundamenta o modelo, sendo 4 dessas relações de ordem superior. Nas Tabelas 2, 3 e 4 foram levantados apenas 6 elementos, 6 atributos e 7 relações. Podemos afirmar que esse maior número de correspondências mapeadas em relação à quantidade inicialmente levantada nos livros didáticos decorre da intencionalidade criativa e pedagógica envolvida no processo da prototipagem do modelo analógico. Embora as comparações encontradas nos livros didáticos tenham servido de base para o nosso protótipo, durante o processo de prototipagem dos modelos convencionais dos circuitos apresentados lado a lado na Figura 12 e, posteriormente, na prototipagem do modelo analógico apresentado na Figura 13, as escolhas feitas para inserção de elementos de ambos os domínios da analogia nessas representações se basearam em aspectos didáticos do próprio processo de modelagem e do estabelecimento dessa analogia. Intencionalmente, por exemplo, utilizou-se 2 válvulas e 2 disjuntores (E_3 e E_4) e ainda 3 controladores de fluxo e 3 lâmpadas (E_{10} , E_{11} e E_{12}) para evidenciarmos aspectos importantes dos circuitos em série e em paralelo. O uso de mais de um desses elementos já resulta em uma diferença entre o levantamento feito nas obras didáticas e o que foi mapeado. Adicionalmente, vale ressaltar que todo esse processo de construção do modelo analógico, associado com a sua prototipagem digital, que envolve tomadas de decisão sobre os elementos, atributos e relações a serem representados no modelo, se configura como uma atividade dinâmica, iterativa e não linear, na qual as decisões e escolhas construtivas de uma etapa interferem nas outras. Portanto, consideramos que adaptações construtivas, intencionalidades pedagógicas e uma certa liberdade criativa são inerentes ao processo de prototipagem estabelecido. Ademais, o mapeamento estrutural do modelo analógico é intencionalmente feito de forma exaustiva, buscando mapear todos os elementos, atributos e relações relevantes, bem como as limitações e diferenças pertinentes à analogia em questão.

Esse mapeamento estrutural nos permitiu também deduzir a estrutura relacional do modelo analógico, a começar pela relação de maior ordem, que coincidiu como sendo a última relação de ordem superior mapeada: 3R_5 . Isso significa que a primeira expressão de concatenamento entre as relações similares colocadas em correspondência na analogia que fundamenta esse modelo é regida por uma relação de terceira ordem. A Figura 14 apresenta as três expressões de concatenamento

que constituem a estrutura relacional do modelo analógico mapeado e os códigos dos predicados relacionais que apareceram isolados, isto é, que não se interconectam uma com as outras.

Figura 14 – Estrutura relacional do modelo analógico do circuito elétrico baseado na comparação com o circuito hidráulico

$$\begin{aligned}
 &1^{\text{a}} \text{ expressão: } {}^3R_5 \{ {}^2R_2 [r_1 (E_3, E_4, A_2 (E_9)), A_1 (E_2)], A_4 (E_1) \} \\
 &2^{\text{a}} \text{ expressão: } {}^2R_4 \{ r_1 [E_3, E_4, A_2 (E_9)], A_1 (E_2) \} \\
 &3^{\text{a}} \text{ expressão: } {}^2R_3 [A_1 (E_2), r'_1 (E_3, E_4, A_2 (E_9))] \\
 &\text{Relações de primeira ordem isoladas: } r_{13}, r_{12}, r_{11}, r_{10}, r_9, r_8, r_7, r_6, r_5, r_4, r_3 \text{ e } r_2
 \end{aligned}$$

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

De acordo com as expressões apresentadas nessa figura, na estrutura relacional do modelo analógico em questão podemos encontrar três conjuntos de relações interconectadas: o primeiro se constitui pelas relações r_1 e R_2 regidas pela relação R_5 ; o segundo envolve a relação r_1 regida pela R_4 ; e o terceiro também envolve a relação r_1 regida, no entanto, pela relação R_3 . A presença da relação de primeira ordem r_1 nas três expressões de concatenamento que constituem a estrutura relacional deduzida evidencia a sua centralidade e relevância na configuração do modelo do circuito elétrico concebido a partir da analogia com o circuito hidráulico. A partir de tal constatação, podemos dizer que a compreensão da existência de uma diferença de potencial elétrico entre os dois terminais da bateria (r_1 no domínio alvo), em similaridade com a existência de uma diferença de potencial gravitacional entre os dois reservatórios posicionados a diferentes alturas, se constitui como a relação fundamental para a construção de significados e atribuição de sentidos no interior das outras relações de ordem superior representadas no modelo. A centralidade de r_1 na estrutura relacional desse modelo analógico também revela a importância dos seus elementos e atributos constituintes: E_3 e E_4 – os dois reservatórios e os dois terminais; e E_9 – os potenciais gravitacional e elétrico, bem como as diferenças em cada caso, codificadas como A_2 . Além desses elementos e atributos que compõem a relação r_1 , presentes nas três expressões de concatenamento, destacam-se como parte constituinte dessas expressões na estrutura relacional o atributo A_1 de E_2 , que trata dos fluxos de água e de cargas elétricas, e o atributo A_4 de E_1 , que se refere às resistências dos circuitos hidráulico e elétrico.

Os outros elementos (E_5 , E_6 , E_7 , E_8 , E_{10} , E_{11} e E_{12}) fazem parte da estrutura relacional do modelo analógico como argumentos das relações de primeira ordem que não aparecem dentro das três expressões de concatenamento. Isso significa que todos esses elementos são itens relevantes para a constituição do modelo analógico do circuito em questão, embora apareçam dentro de predicados relacionais isolados. O mesmo ocorre com os atributos A_5 , A_6 , A_7 e A_8 , que tratam de possíveis ajustes no circuito modelado (valores de resistência elétrica em similaridade com ajustes nos controladores de fluxo) e de características físicas da fiação elétrica em similaridade às características físicas da tubulação.

Por meio da dedução dessa estrutura relacional comum, também foi possível identificar um atributo inicialmente mapeado e aparentemente relevante que não faz parte dela: o atributo A_3 , que trata do diâmetro da fiação elétrica em similaridade com o diâmetro da tubulação hidráulica. Vimos que esse atributo se constitui, na verdade, como uma possível manifestação da correspondência codificada como A_8 – as características físicas da fiação em similaridade com as características físicas da tubulação. Isso significa que esse atributo, o diâmetro, é um predicado descritivo pouco relevante tanto para o processo de construção desse modelo quanto para a abordagem da analogia que o fundamenta.

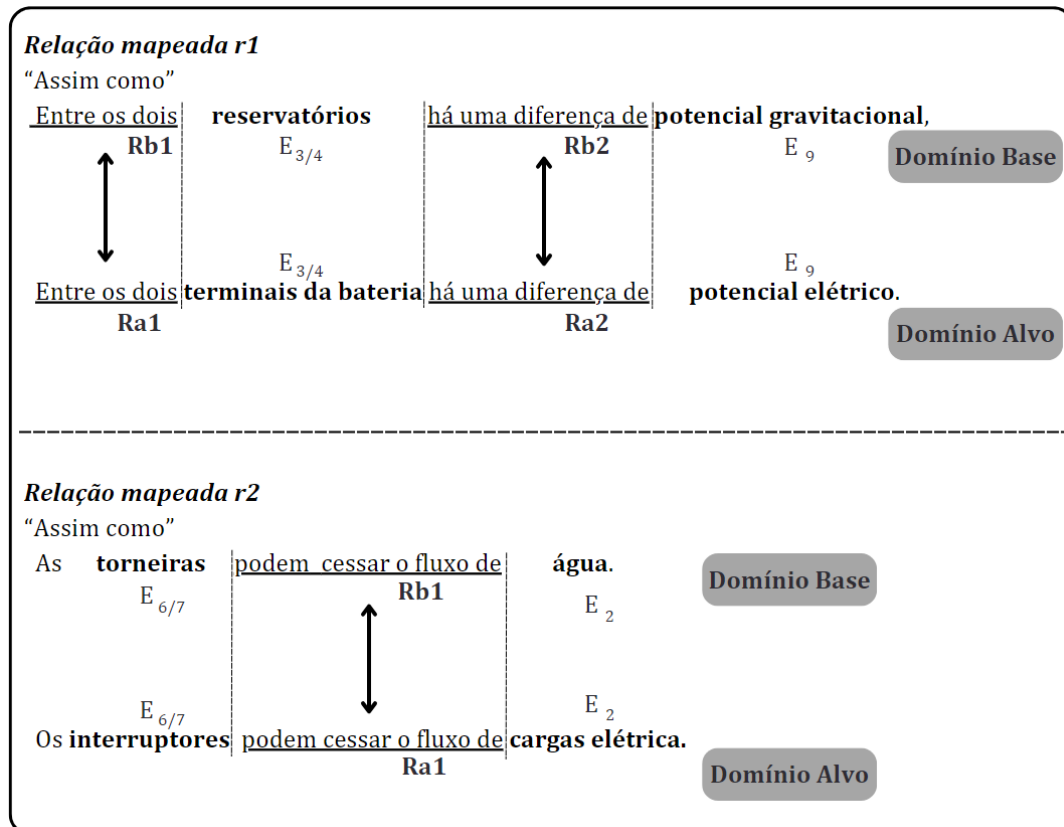
Essa estrutura relacional, além de elucidar o modo como todas as relações do circuito elétrico que encontram relações similares no circuito hidráulico estão (ou não) interconectadas, também revela outros aspectos do modelo analógico: (1º) o foco relacional, evidenciado pelo alto número de relações, mesmo tendo um grande número de elementos e atributos similares, uma vez que a maior parte deles estão presentes no interior dessas relações; isso significa que a modelagem analógica de um circuito elétrico em correspondência com um circuito hidráulico supera a similaridade de mera aparência entre os dois domínios; e (2º) a sistematicidade relativamente alta, evidenciada pela interconectividade parcial das relações mapeadas por meio das três expressões de concatenamento regidas pelas relações de ordem superior 3R_5 , 2R_4 e 2R_3 , apesar da existência de 12 relações de primeira ordem que aparecem como predicados relacionais isolados.

Retomando ao Quadro 11, o mapeamento estrutural revela a consistência estrutural do modelo analógico evidenciada pela correspondência um a um entre os 12 elementos e 8 atributos identificados, de modo que cada um dos elementos e cada um desses predicados do domínio representante corresponde a apenas um elemento ou predicado do domínio representado, além da conectividade em paralelo entre as relações similares colocadas em correspondência. Por exemplo, na correspondência relacional codificada como r_7 , em que uma maior resistência elétrica do circuito resulta em um menor fluxo de cargas elétricas, é possível perceber uma conectividade em paralelo

com os argumentos da relação que trata da maior resistência do circuito hidráulico que resulta em um menor fluxo de água.

Sobre a similaridade semântica das comparações mapeadas no PRODMACE, que facilita o reconhecimento dos elementos, atributos e relações correspondentes, selecionamos 2 exemplos - os enunciados das relações r_1 e r_2 - para ilustrar como essa característica está presente nas relações mapeadas. Vamos, portanto, analisar se as correspondências de similaridade compartilham significados semelhantes. Segundo essa restrição as semelhanças entre as entidades em correspondência devem estar condicionadas às semelhanças das relações. Conforme a Figura 15, ao comparar a existência de uma diferença de potencial entre os reservatórios de água com a existência de uma diferença de potencial elétrico entre os terminais da bateria, no exemplo i, e o fluxo de água poder ser interrompido pela torneira com o fluxo de cargas elétricas poder ser interrompido pelos disjuntores, no exemplo ii, temos que os significados compartilhados pelos argumentos utilizados nas relações são semelhantes entre si (**Rb** – relação da base, **Ra** – relação do alvo).

Figura 15 - Exemplos de demonstração de similaridade semântica



Fonte: Elaborado pelo autor (2024) – Modificado de Holyoak & Thagard (1989).

Por fim temos a restrição da adequação pragmática, pois as comparações identificadas no PRODMACE devem depender das intenções e propósitos para os quais foi concebida. Nesse sentido, é fundamental identificar as características pertinentes desse domínio que serão aplicadas no contexto da comparação. Em termos mais amplos, podemos dizer que o propósito para o qual o PRODMACE foi construído é o de expressar as correspondências de similaridade que abrangem os CBE. Pela análise da estrutura relacional comum desenvolvida, foi destacado que as relações mapeadas trabalham com os conceitos fundamentais, como fluxo de cargas ou corrente elétrica, relação desta com a diferença de potencial elétrica, resistência elétrica além de identificar alguns elementos básicos de um circuito elétrico. Todavia, ainda seria necessário identificar qual é o propósito contextual de quem estaria recorrendo a esse recurso, para, então, avaliar se o modelo tem adequação à intenção de uso. Na próxima seção voltaremos à essa questão, integrando à discussão sobre a adequação pragmática os dados da entrevista, pois, a partir do relato dos professores, podemos explorar as intenções pedagógicas em um possível uso do modelo analógico.

Além das similaridades, também foram identificadas 4 limitações (L_1 , L_2 , L_3 e L_4) e 3 diferenças alinháveis (D_1 , D_2 e D_3). Sobre as quatro limitações, enquanto L_1 trata de um elemento (a bomba hidráulica) presente no modelo que não representa analogicamente qualquer elemento de um circuito elétrico, L_2 e L_3 se referem a elementos presentes nas baterias dos circuitos elétricos não representados por meio do modelo analógico – o separador interno entre os terminais da bateria e o seu eletrólito. Já L_4 se configura como uma diferença não alinhável entre os domínios da analogia que fundamenta o modelo: no circuito hidráulico, a bomba (E_{13}) inserida entre os dois reservatórios tem a função de manter a diferença de potencial gravitacional praticamente constante entre eles. No entanto, no circuito elétrico, uma bateria alcalina, por exemplo, não desempenha esse mesmo papel – o de manter a diferença de potencial elétrico constante entre os terminais. A presença do separador (E_{14}) entre os terminais e o eletrólito (E_{15}) apenas garante o adequado funcionamento da bateria, mas não mantém constante a diferença de potencial, pois essa diferença de potencial elétrico diminui à medida que a bateria se descarrega.

Sobre as diferenças alinháveis, a D_1 aborda um conceito importante para o Ensino da Eletrodinâmica: a diferença entre corrente elétrica convencional e corrente elétrica real. A primeira é uma convenção adotada historicamente que assume que a corrente elétrica flui, no caso de uma bateria, do polo positivo (terminal com maior potencial elétrico) para o polo negativo (terminal com menor potencial elétrico). A corrente elétrica real, por outro lado, considera o movimento real dos elétrons: nos condutores elétricos sólidos, havendo uma diferença de potencial elétrico entre os terminais das baterias, os elétrons livres se deslocam do polo negativo (ânodo) para o polo positivo

(cátodo), isto é, no sentido oposto ao da corrente convencional. Como essa particularidade dos circuitos elétricos não encontra similaridade com os circuitos hidráulicos, mas está associada com os fluxos de água e de cargas elétricas, classificamos esse atributo como uma diferença alinhável entre o domínio alvo (domínio representado) e o domínio base da analogia que fundamenta o modelo. Ressaltamos ainda que o mapeamento foi realizado considerando a corrente elétrica no sentido convencional. Isso pode ser visto na relação R_3 , que trata do sentido convencional da corrente elétrica, do terminal positivo (maior potencial elétrico) para o terminal negativo (menor potencial elétrico), em similaridade com o sentido do fluxo de água a partir do reservatório de maior potencial gravitacional para o de menor potencial gravitacional.

Por fim, as diferenças alinháveis D_2 e D_3 tratam de situações importantes de se destacar na representação dos circuitos elétricos a partir da analogia com os circuitos hidráulicos: D_2 se refere à interrupção do funcionamento dos circuitos elétricos por meio da abertura de um disjuntor, contrariamente ao que se opera em um circuito hidráulico, em que a interrupção se dá por meio do fechamento de uma válvula. Enfatizar essa diferença é importante para que o estudante não transfira, erroneamente, ideias de um domínio ao outro, como no caso da oposição dos verbos “abrir” e “fechar”. Já em D_3 , a diferença se refere à natureza da relação r_6 , ora entre a fiação metálica e os elétrons, ora entre a tubulação e a água que passa dentro dela: no primeiro caso há uma relação de constituição, pois os elétrons fazem parte da fiação metálica; no segundo caso, a água não faz parte da tubulação. Trata-se de uma relação de contenção entre a tubulação e a água, diferentemente da relação de constituição entre a fiação metálica e as cargas elétricas.

5.3. Inferências - Potencial pedagógico do Modelo analógico

Tanto as entrevistas feitas com professores da EPTNM quanto a análise apresentada do mapeamento estrutural evidenciam razões pelas quais o PRODMACE pode ser considerado um recurso pedagógico com potencialidades significativas para o ensino dos CBE. A partir da análise de conteúdo das entrevistas é possível constatar uma percepção positiva em relação ao PRODMACE, evidenciando sua utilidade como recurso mediacional para o ensino dos CBE. Os relatos dos professores enfatizaram a capacidade do modelo de tornar os conceitos de alto grau de abstração mais concretos e acessíveis aos estudantes, podendo auxiliar a tornar o Ensino de eletrodinâmica mais tangível e envolvente. Ademais, a análise do mapeamento estrutural detalha uma coerente estrutura relacional comum entre os domínios em questão. Essa estrutura demonstra que as comparações de similaridade estabelecidas entre os circuitos envolvem relações de grande valor

analógico podendo, de acordo com o referencial teórico adotado, ser um artefato importante na construção de conhecimentos dos CBE.

Agrupar elementos de comparações analógicas em um modelo se apresenta como uma estratégia didática de valor destacado. Embora o tópico de Circuitos Elétricos possa ser introduzido de maneira relativamente direta em sala de aula, seja por meio da demonstração de circuitos reais ou de modelos que permitem aos estudantes observar alguns efeitos diretamente, explorar as transformações internas de um circuito hidráulico e suas correspondências com circuitos elétricos parece-nos se constituir como uma abordagem pedagógica interessante e adequada. Tal método detém considerável potencial para facilitar a assimilação dos conceitos essenciais de Eletrodinâmica. Além disso, a fusão entre as percepções de professores da Educação Profissional e Tecnológica de Nível Médio (EPTNM) e a análise estrutural das comparações que podem ser mapeadas pelo PRODMACE ressalta múltiplos motivos pelos quais esse modelo se estabelece como um recurso educacional de significativas possibilidades.

Em primeiro lugar, as entrevistas com os professores mostraram que o recurso apresentado foi bem avaliado, de acordo com as respostas e percepções fornecidas pelos entrevistados. Destacaram que a materialidade dos elementos macroscópicos de um circuito hidráulico postos em comparação analógica aos elementos microscópicos de um circuito elétrico se configura como uma ferramenta cognitiva, ou de acordo com um dos referenciais teóricos adotados nesta dissertação, um artefato epistêmico, valioso para auxiliar os estudantes a construir conhecimentos a respeito dos CBE. Os professores demonstraram uma predisposição ao uso do modelo analógico no caso de este estar disponível fisicamente para eles o utilizarem em sala de aula. Mesmo os que apontaram alguma limitação ou sugestões de melhoria declararam entusiasmo quanto ao uso do modelo.

Sobre a análise mapeamento do PRODMACE, a estrutura relacional comum desenvolvida revelou não apenas a interconexão entre as relações do circuito elétrico e hidráulico, mas também destacou dois aspectos principais do modelo analógico: primeiro, sua ênfase nas relações, apesar do grande número de elementos e atributos semelhantes, indicando correspondências de similaridade que vão além da simples semelhança superficial entre os domínios; segundo, sua alta sistematicidade, demonstrada pela interligação parcial das relações através de expressões de concatenamento, apesar da presença de relações de primeira ordem isoladas.

Corroborando com esses aspectos positivos relatados, podemos ainda discorrer sobre uma das cinco restrições consideradas na definição aqui apresentada de analogia: a adequação pragmática. Como discutido na seção anterior ela se refere às intenções e propósitos para os quais a analogia, ou no nosso caso o modelo, foi construído. Nesse sentido, tanto o mapeamento quanto a

análise das entrevistas, convergem ao apontarem a importância de explorar a comparação da diferença de potencial gravitacional com a diferença de potencial elétrica e a relação dessas diferenças com os conceitos basilares dos circuitos dos domínios base e alvo, respectivamente. Em um relato de um dos professores entrevistados, foi dito que o modelo poderia ser utilizado na introdução ao estudo da eletrodinâmica para elucidar como ocorre o fluxo de cargas. Nesse contexto, iniciaria a abordagem estabelecendo as condições necessárias para o fluxo de água e, subsequentemente, estabelecemos a analogia entre este fluxo e o movimento das cargas elétricas. Outro professor destacou a importância de apresentar aos estudantes a diferença de potencial, abordando tanto a diferença de potencial gravitacional quanto a elétrica. Ele considerou essa parte como particularmente interessante, enfatizando que ela esclarece o motivo pelo qual ocorre uma corrente no circuito elétrico ou o fluxo de água em um circuito hidráulico. Identificamos, portanto, a importância que esses professores deram à essa relação estando em acordo com a centralidade desta na estrutura relacional comum apresentada no mapeamento. Dessa forma conclui-se que o modelo tem potencial de trabalhar os conceitos presumidamente importantes das comparações analógicas em questão. Pelo exposto neste capítulo, inferimos que o recurso prototipado revela-se como um recurso pedagógico que pode auxiliar professores e estudantes em sala de aula na mediação do processo de ensino e aprendizagem e na construção de significados dos CBE.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo nos permite concluir que os modelos analógicos, como o prototipado digitalmente e analisado neste trabalho, podem desempenhar um papel importante no Ensino de Física, a exemplo do que foi discutido para o ensino de conceitos básicos da Eletrodinâmica. Considerando as etapas propostas para a construção do modelo analógico deste estudo e os meios de avaliação utilizados, esse recurso emerge como uma ferramenta de relevância, capaz de auxiliar o compartilhamento de significados e a atribuição de sentidos aos conceitos em questão. Ele pode não apenas estimular a compreensão conceitual, mas também promover o entendimento dos componentes dos circuitos elétricos por meio da associação com os componentes e funcionamento dos circuitos hidráulicos. Essa abordagem analógica permite aos estudantes identificar similaridades entre os elementos dos circuitos elétricos e hidráulicos, enriquecendo sua compreensão das relações presentes no contexto proposto. A análise sugere também que essa abordagem é capaz de fomentar a exploração e a experimentação prática, resultando em uma aprendizagem em Física mais ativa e significativa.

O desenvolvimento, construção e estudo do protótipo digital de um modelo analógico de um circuito elétrico, fundamentado na comparação entre um circuito hidráulico e elétrico e idealizado como um recurso mediacional para o ensino de CBE, foram minuciosamente analisados ao longo desta pesquisa. Exploramos tanto as percepções dos professores da EPTNM quanto a análise estrutural das correspondências de similaridades, as diferenças alinháveis e as limitações presentes no modelo, buscando compreender suas implicações no contexto educacional. O procedimento metodológico adotado nos levou a conclusões significativas, indicando que o modelo possui potencialidades consideráveis para enriquecer o ensino e a aprendizagem de conceitos básicos dos circuitos elétricos, podendo ser parte de uma estratégia didática mais tangível e acessível para o entendimento dos fenômenos e princípios físicos.

As entrevistas realizadas com os professores da EPTNM proporcionaram inferências sobre a recepção docente do modelo que lhes foi apresentado. Esses docentes expressaram uma recepção positiva em relação ao PRODMACE, reconhecendo seu valor como uma ferramenta pedagógica com potencial promissor. Destacaram vantagens percebidas para o uso do PRODMACE em associar os fenômenos elétricos a fenômenos mais concretos, ressaltando que características do recurso podem facilitar a compreensão e a aprendizagem dos CBE.

O mapeamento estrutural realizado revelou diversos aspectos que destacam o potencial analógico do modelo prototipado. Durante a discussão realizada neste trabalho identificamos alguns desses aspectos, com destaque para a centralidade da relação r_1 . Esta centralidade é evidenciada

pelas expressões de concatenamento presentes na estrutura relacional comum entre os domínios hidráulico e elétrico. Essas expressões indicam que a correspondência da relação entre a diferença de potencial gravitacional nos reservatórios de água e a diferença de potencial elétrico nos terminais de uma bateria desempenha um papel fundamental na compreensão dos demais conceitos e relações representadas no modelo. Ao enfatizar a importância de r_1 , não apenas ressaltamos sua centralidade, mas também seu impacto na compreensão das outras relações que compõem o modelo, evidenciando sua sistematicidade e sua relevância no caso de uso desse modelo em ambientes de ensino.

Retomando os objetivos específicos da pesquisa, sendo eles - i) definir os elementos, atributos e relações pertinentes à construção de um PRODMACE para o ensino de CBE; ii) construir um PRODMACE de forma que as correspondências de similaridades levantadas estejam representadas nesse modelo; iii) investigar as percepções de professores da disciplina de Física na EPTNM quanto ao uso do PRODMACE no ensino de conceitos básicos da Eletrodinâmica; e iv) analisar os aspectos estruturais, semânticos e pragmáticos das analogias expressas no PRODMACE - podemos analisar a abrangência de cada um deles nos resultados e discussões apresentados na pesquisa.

Em relação ao primeiro objetivo específico delineado, consideramos que os livros didáticos analisados se constituíram como fontes adequadas para identificação de uma quantidade significativa de elementos e predicados pedagogicamente relevantes para a construção do modelo analógico prototipado. Ao examinar os livros, cujos critérios de seleção especificamos no capítulo da construção do PRODMACE, entramos em contato com comparações analógicas que julgamos serem de uma fonte fundamentada e objetiva. Reconhecemos, claro, a existência de diversos outros elementos, atributos e relações possíveis para serem utilizados na construção de analogias entre os circuitos hidráulico e elétrico e que também poderiam compor a base do nosso modelo, mas outras fontes, como, por exemplo, analogias indicadas por professores poderia resultar em um trabalho extenso, complexo e subjetivo. Portanto, optamos por uma abordagem que nos permitisse identificar elementos e predicados de forma mais sistemática e direcionada. Desse modo, a partir do levantamento feito nessas fontes, chegamos a uma quantidade de 6 elementos, 6 atributos e 7 relações relevantes, que podem ser vistos nas Tabelas 2, 3 e 4 apresentados na seção da metodologia.

O segundo objetivo da pesquisa foi abordado por meio de uma análise minuciosa que confrontou os elementos e predicados obtidos no levantamento feito nos livros didáticos com o modelo analógico prototipado, representado nas Figuras 3, 3a, 3b e 3c, bem como com seu

mapeamento estrutural. Em nossa análise exploramos como foi feito a integração das correspondências entre os elementos e atributos e relações no PRODMACE. Por meio do mapeamento estrutural do modelo e até das próprias imagens do protótipo, foi possível fazer a análise do modo como as correspondências de similaridade foram exploradas nessa representação. Como foi discutido no capítulo de construção do PRODMACE, apenas uma das sete relações identificadas nos livros não seria representada no modelo analógico. Tal decisão decorreu da adoção de uma abordagem que consideramos mais pertinente, priorizando a analogia entre os elementos resistivos dos circuitos e os respectivos fluxos, água e cargas elétricas, marcada pela correspondência denominada r_4 . Esse direcionamento estratégico foi adotado com o intuito de enfatizar os conceitos mais essenciais, facilitando uma representação mais precisa e didática dos princípios fundamentais da Eletrodinâmica.

No que tange ao terceiro objetivo da pesquisa, a investigação das percepções dos professores é um dado basilar deste estudo. A análise de conteúdo revelou uma avaliação positiva do recurso apresentado, conforme evidenciado pelas transcrições das respostas dos entrevistados. Os professores destacaram a utilidade da representação analógica, ressaltando como a materialidade dos elementos macroscópicos de um circuito hidráulico, em comparação com os elementos microscópicos de um circuito elétrico, pode ser uma ferramenta cognitiva de grande valor pedagógico. A receptividade favorável ao protótipo apresentado pelos professores indica a sua relevância como recurso mediador que pode enriquecer a compreensão dos estudantes sobre alguns dos conceitos fundamentais da Eletrodinâmica.

Quanto ao objetivo de caracterização do modelo analógico à luz da TME, a análise do mapeamento estrutural do protótipo permitiu concluir que as correspondências de similaridade expressas no modelo são de alto poder analógico. Para essa conclusão observou-se que o modelo é estruturalmente consistente, evidenciado pelas correspondências um a um e pelas conectividades em paralelo entre os argumentos das relações mapeadas. Além disso, o modelo demonstra um foco relacional adequado, favorecendo o desencadeamento de um raciocínio analógico alinhado com os pressupostos teóricos adotados. A sistemática do modelo também foi observada, notadamente pela importância da relação r_1 dentro de três relações de ordem superior, destacando sua coesão interna. Adicionalmente, a análise revelou que o modelo atende à restrição de similaridade semântica, com alto grau de semelhança entre os significados e sentidos que podem ser atribuídos aos elementos, atributos e relações colocadas em correspondência na comparação entre os dois tipos de circuitos. Por fim, consideramos que esse modelo analógico pode ser pragmaticamente adequado aos propósitos contextuais dos professores de Física entrevistados, uma vez que ele parecer atender às

expectativas desses professores quanto ao ensino dos conceitos básicos da Eletrodinâmica e ao emprego da analogia que fundamentou a sua construção. Levando em consideração esses elementos, conclui-se que o modelo analógico constitui um recurso com grande potencialidade pedagógica para mediar os processos de ensino e de aprendizagem em Eletrodinâmica.

Ademais, as etapas realizadas nesta dissertação que se deu com o desenvolvimento do protótipo digital do modelo analógico de um circuito elétrico fundamentado na comparação com um circuito hidráulico, para o Ensino da Eletrodinâmica e pela avaliação desse recurso, nos permitiram elaborar uma resposta à questão de pesquisa apresentadas na introdução deste artigo (que se relaciona também ao objetivo geral apresentado), a saber: Considerando tanto aspectos estruturais, semânticos e pragmáticos, quanto as percepções de professores de Física, de que maneira o uso de um modelo analógico, fundamentado na comparação entre circuitos hidráulicos e elétricos e desenvolvido por meio de prototipagem digital, contribui para o ensino de conceitos básicos da Eletrodinâmica?

O percurso metodológico adotado e amplamente discutido no capítulo anterior nos permitiu inferir que o recurso mediacional aqui apresentado tem grande potencial pedagógico para o seu uso em sala de aula. Esse recurso foi elaborado e investigado de acordo com a unidade de análise que sintetizou o construto teórico da pesquisa. Foi, portanto, concebido para ser uma ferramenta cultural para mediar a construção de conhecimentos sobre os conceitos básicos da Eletrodinâmica. No processo de modelagem por prototipação, consideramos o modelo como um artefato epistêmico, permitindo, por meio das correspondências de similaridade, uma representação criativa envolvendo, por comparação analógica, as entidades de interesse no estudo dos circuitos elétricos. As correspondências identificadas no modelo foram mapeadas e explorados os seus aspectos relativos às restrições da Teoria do Mapeamento Estrutural e da Teoria das Múltiplas Restrições. Toda essa base teórica empregada na construção do protótipo foi ainda submetida à avaliação dos professores, os quais o avaliaram de forma positiva. Dito isso, concluímos que o modelo analógico pode contribuir para o ensino de conceitos básicos da Eletrodinâmica pois oferece uma abordagem com uso de comparações analógicas consistentes em um processo cuja modelagem aproxima conceitos mais simples e tangíveis dos conceitos supostamente de maior complexidade da Eletrodinâmica, sendo, portanto, um importante recurso para o ensino desse tópico.

Com base no exposto, acreditamos que este trabalho oferece contribuições significativas para o aprimoramento das práticas de Ensino em Física da EPTNM, permitindo o desenvolvimento de habilidades técnicas e cognitivas. Nossa análise nos levou a considerar que os modelos analógicos podem desempenhar um importante papel como recursos mediacionais e integrar-se como parte

importante de estratégias pedagógicas para a aprendizagem de conteúdos que demandam um alto grau de abstração em sua compreensão, como é o caso do estudo da Eletrodinâmica. Além disso, esperamos que este trabalho contribua para a proposição de etapas que possam sistematizar a construção de modelos analógicos voltados para o Ensino de Ciências, podendo servir como um guia para educadores interessados em adotar essa abordagem em suas práticas pedagógicas. Recomendamos, ainda, que futuras investigações se concentrem nas percepções de professores e estudantes em relação ao uso do modelo analógico em sua versão materializada. Essas pesquisas podem enriquecer a compreensão sobre o potencial pedagógico dos modelos analógicos, pois teria a usabilidade real do modelo em diferentes contextos educacionais.

Considerando todas as etapas desenvolvidas, as estruturas relacionais, sistemáticas, semânticas e pragmáticas presentes no modelo e as percepções docentes, acreditamos ter oferecido uma contribuição significativa para o Ensino de Eletrodinâmica e por extrapolação para o Ensino de Física e outros componentes curriculares das Ciências da Natureza.

Contudo, é importante reconhecer que este trabalho também apresenta algumas limitações. Uma delas é o fato de que o modelo foi desenvolvido apenas como um protótipo digital, sem uma versão física concreta. Embora o protótipo digital tenha sido avaliado positivamente, a versão física pode trazer aspectos e desafios não mensurados nesta pesquisa. Portanto, como já destacado anteriormente, reconhecemos a necessidade da materialização desse modelo analógico. Para isso achamos ainda que é preciso pensar na construção de um recurso economicamente viável, para uso em instituições públicas de ensino, que possa também envolver os estudantes tanto no processo de prototipação quanto em sua modelagem física e ainda utilizar tecnologias atuais para a sua fabricação, como as impressoras 3D presentes em laboratórios maker de algumas instituições de ensino profissional e técnico. Outro aspecto que poderia ter sido explorado na pesquisa é a percepção de professores de disciplinas técnicas que lidam diretamente com a Eletrodinâmica, típicas de alguns cursos técnicos, como Eletrônica e Eletrotécnica. Entrevistar esses professores nos permitiria confrontar convergências e divergências entre as disciplinas técnicas e o componente curricular de Física quanto à importância do desenvolvimento conceitual além de outros aspectos relevantes.

7. REFERÊNCIAS

- AGUAYO, F. G.; LAMA, J. R. **Didáctica de la Tecnología: Diseño y desarrollo del currículo tecnológico**. Sevilla, España: Tebar, 1998.
- ALMEIDA, D. J. E. D.; ALMEIDA, R. B. S. D.; FERRY, A. da S. MAES-3DMF: mapeamento estrutural de um Modelo Analógico do Espaço Sideral 3D em Meio Fluido para o Ensino de Ciências. *Latin American Journal of Science Education*, v. 5, n. 22004, 2018.
- ASSIS, L. P. **Potencialidades e limitações pedagógicas no uso de modelos analógicos**. 2020. 217 f. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação Tecnológica. – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2020.
- ARAÚJO, R. M. de L. Formação de docentes para a Educação Profissional e Tecnológica: Por uma Pedagogia integradora da Educação Profissional. *Trabalho & Educação*, Belo Horizonte, v. 17, n. 2, p. 53–63, 2010. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/trabedu/article/view/8586>. Acesso em: 20 jun. 2022.
- BARBOSA, W. V. **Análise da sistematicidade de analogias em contextos de ensino e de pesquisa na educação em ciências**. 2019. 221 f. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação Tecnológica. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2019.
- BARDIN, L. **Análise de Conteúdo**. 1. ed. São Paulo: Edições 70, 2016.
- BIANCHETTI, L. **Da chave de fenda ao laptop: tecnologia digital e novas qualificações – desafios à educação**. Ed. da UFSC, 2008.
- BOZELLI, F. C. **Analogias e Metáforas no Ensino de Física: O Discurso do Professor e o Discurso do Aluno**. 2005. 234f. Dissertação (Mestrado em Educação para a Ciência). Faculdade de Ciências, UNESP – Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2005.
- BOZELLI, F. C. **Saberes docentes mobilizados em contextos interativos discursivos de ensino de Física envolvendo analogias**. 2010. 258f. Tese (Doutorado em Educação para a Ciência). Faculdade de Ciências, UNESP, Bauru, 2010.
- BOBOWSKI, J. S. The Hydraulic Analogues of Basic Circuits: Labs for Online Learning Environments. *arXiv preprint arXiv:2011.14081*, 2020.
- BRASIL. **Catálogo Nacional de Cursos Técnicos**. Brasília, DF: Ministério da Educação, dezembro de 2020. Disponível em: <http://cnct.mec.gov.br/>. Acesso em: 20 Fev. 2024.
- BRASIL. **Decreto nº 5154/2004**. Casa civil, julho de 2004. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/decreto/d5154.htm

BRASIL. **Documento Base da Educação Profissional Técnica de Nível Médio Integrada ao Ensino Médio**. Brasília, DF: Ministério da Educação, dezembro de 2007 Disponível em: http://portal.mec.gov.br/setec/arquivos/pdf/documento_base.pdf. Acesso em: 27 Fev. 2024.

BRASIL. **Educação Profissional e Tecnológica (EPT)**. MEC: Brasília, 2018. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/educacao-profissional-e-tecnologica-ept/apresentacaoept>. Acesso em: 21 jan. 2024.

BROWN, S.; SALTER, S. Analogies in science and science teaching. **Advances in Physiology Education**, v. 34, n. 4, p. 167-169, 2010.

BRYCE, T.; MACMILLAN, K. Encouraging conceptual change: the use of bridging analogies in the teaching of action–reaction forces and the ‘at rest’ condition in physics. **International Journal of Science Education**, 27(6), 737–763, 2005.

BURDE, J.; WEATHERBY, T. S.; KRONENBERGER, A. An analogical simulation for teaching electric circuits: a rationale for use in lower secondary school. **Physics. Education**, v. 56, n.5, 2021.

CHADEGANI, A. *et al.* A Comparison between Two Main Academic Literature Collections: Web of Science and Scopus Databases. **Asian Social Science**, Vol. 9, No. 5, pp. 18-26, April 27, 2013, Disponível em: <https://ssrn.com/abstract=2257540>.

CHARMAZ, Kathy. Grounded theory in global perspective: Reviews by international researchers. **Qualitative inquiry**, v. 20, n. 9, p. 1074-1084, 2014.

CLEMENT, J. **Creative Model Construction in Scientists and Students: The role of imagery, analogy and mental simulations**. Dordrecht: Springer, 2008.

CLEMENT, C. A.; GENTNER, D. Systematicity as a selection constraint in analogical mapping. **Cognitive science**, v. 15, n. 1, p. 89-132, 1991.

CRESWELL, J. W., & CRESWELL, J. D. **Projeto de pesquisa: Métodos qualitativo, quantitativo e misto**. Penso Editora, 2021.

CRUZ-HASTENREITER, R. S. **Das palavras aos quanta: Analogia como elemento do pensamento e ferramenta didática em aulas de Física quântica na educação básica**. 2015. 338f Tese (Doutorado) – Instituto de Física e Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, 2015.

ÇIBIK, A. S.; YALÇIN, N. The effect of teaching the direct current concept with analogy technique to the attitudes of science education students toward physics. **Procedia Social and Behavioral Sciences** 15 2647–2651 2011.

DENZIN, N. K. (2008). **Strategies of Qualitative Inquiry**. Sage Publications, 2008.

DUIT, R. On the Role of Analogies and Metaphors in Learning Science. **Science education**, v. 75, n. 6, p. 649-672, 1991.

DUIT, R.; TREAGUST, D. F. Conceptual change: A powerful framework for improving science teaching and learning. **International Journal of Science Education**, v. 25 n. 6, p. 671–688, 2003.

ELSE, M. J.; RAMIREZ, M. A.; CLEMENT, J. When Are Analogies the Right Tool? A Look at the Strategic Use of Analogies in Teaching Cellular Respiration to Middle-School Students. 2002. Disponível em: <https://eric.ed.gov/?id=ED465633>.

EVAGOROU, M. ET AL. The role of visual representations in scientific practices: from conceptual understanding and knowledge generation to 'seeing' how science works. **International Journal of STEM Education**, 2:11. 2015.

EYNG, M. C. dos S. **Analogias, metáforas e aprendizagem significativa de Física: um caminho para a construção da linguagem científica no Cotidiano**, 2011. 102f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática). Universidade Regional FURB, 2011.

FALKENHAINER, B.; FORBUS, K. D.; GENTNER, D. The structure-mapping engine: Algorithm and examples. **Artificial intelligence**, v. 41, n. 1, p. 1-63, 1989.

FERRY, A. S. **Análise estrutural e multimodal de analogias em uma sala de aula de química**. 2016. 170 f. Tese (Doutorado em Educação) – Faculdade de Educação, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2016.

FERRY A. S. **Pesquisas sobre Analogias no contexto da Educação em Ciências à luz da Teoria do Mapeamento Estrutural (Structure-mapping theory)**. São Paulo: Livraria da Física, 2018.

FERRY, A. S.; BARBOSA, W. V.; ASSIS, L. P. **Analogias estruturalmente mapeadas para o ensino de química**. 1. ed. - Curitiba : Appris, 2023. 155 p.

FOTOU, N.; ABRAHAMS, I. Extending the Role of Analogies in the Teaching of Physics. **The Physics Teacher**, Vol. 58. 2020.

FRANCO, M. L. P. B. **Análise de conteúdo**. 3. ed. Brasília: Líber Livro, 2008.

GARCIA, N. M. D.; LIMA FILHO, D. L. **Politecnia ou educação tecnológica: desafios ao ensino médio e à educação profissional**. In: GARCIA, N. M. D.; LIMA FILHO, D. L. (org.). Trabalho, educação e tecnologia: alguns dos seus enlacs. Curitiba: UTFPR, 2010. p. 21-55.

GENTNER, D. Structure-mapping: A theoretical framework for analogy. **Cognitive science**, v. 7, n. 2, p. 155-170, 1983.

GENTNER, Dedre; BOWDLE, Brian. Metaphor as structure-mapping. **The Cambridge handbook of metaphor and thought**, v. 109, p. 128, 2008.

GENTNER, D., & GENTNER, D. R. Flowing waters or teaming crowd: Mental models of electricity. In D. Gentner & A. L. Stevens (Eds.), **Mental models**. Hillsdale. NJ: Erlbaum, 99-129, 1983.

GENTNER, D.; MARKMAN, A. B. Structure Mapping in Analogy and Similarity. **American psychologist**, v. 52, n. 1, p. 45, 1997.

GENTNER, D.; KURTZ, K. J. Relations, objects, and the composition of analogies. **Cognitive science**, v. 30, n. 4, p. 609-642, 2006.

GILBERT, J. K.; JUSTI, R. **Modelling-based teaching in science education**. Cham, witzerland: Springer International Publishing, v. 9, 2016.

GOULART, J. A. B. **Analogias e metáforas no Ensino de Física: Um exemplo em torno da temática de campos**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em ensino de ciências. – Universidade de Brasília, UNB, 147f, 2008.

GRAY, M. E.; HOLYOAK, K. J. Teaching by analogy: From theory to practice. **Mind, Brain, and Education**, v. 15, n. 3, p. 250-263, 2021.

GREENSLADE JR., T. B. The Hydraulic Analogy for Electric Current. **The Physics Teacher**, v. 41, n. 8, p. 464-466, 2003.

HACHMI, A. *et al.* A playground activity as an analogy of electric current to help students overcome misconceptions about electricity. **Physics Education**, v. 56, n. 6, p. 065020, 2021.

HART, C. Models in physics, models for physics learning, and why the distinction may matter in the case of electric circuits. **Research in Science Education**, v. 38, p. 529-544, 2008.

HERMITA, N.; *et al.* The Effectiveness of Using Virtual Simulation and Analogy in the Conceptual Change Oriented-Physics Learning on Direct Current Circuits. **The Turkish Online Journal of Educational Technology**, v.16, 2017.

HOLYOAK, K. J.; THAGARD, P. Analogical mapping by constraint satisfaction. **Cognitive science**, v. 13, n. 3, p. 295-355, 1989.

HONG., S.; Successfully mapping the U-tank to an electric circuit. **Physics Education** 45 322, 2010.

JOHSUA, S., & DUPIN, J.-J. Using "Modelling Analogies" to Teach Basic Electricity: A Critical Analysis. **Learning Electricity and Electronics with Advanced Educational Technology**, Springer, p. 39-55, 1993.

JONĀNE, L. Using Analogies in Teaching Physics: A Study on Latvian Teachers' Views and Experience. **Journal of Teacher Education for Sustainability**, vol. 17, no. 2, pp. 53-73, 2015.

JUSTI, R. La Enseñanza de Ciencias Basada en la Elaboración de Modelos. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 24, n. 2, p. 173-184, 2006.

JUSTI, R. S.; GILBERT, J. K. Modelling, teachers' views on the nature of modelling, and implications for the education of modellers. **International Journal of Science Education**, v. 24, n. 4, p. 369-387, 2002.

JUSTI, R.; GILBERT, J. The Role of Analog Models in the Understanding of the Nature of Models in Chemistry. In: **Metaphor and analogy in science education**. Dordrecht: Springer, 2006. p. 119-130.

KIPNIS, N. Scientific Analogies and Their Use in Teaching Science. **Science & Education** v, 14, p. 199-233, 2005.

KNUUTTILA, T. **Models as epistemic artefacts: Toward a non-representationalist account of scientific representation**. Helsinki, Finland: University of Helsinki, 2005.

KNUUTTILA, T. Imagination extended and embedded: artifactual versus fictional accounts of models. **Synthese**, v. 198, n. Suppl 21, p. 5077-5097, 2021.

KOPP, A. F.; ALMEIDA, V. Analogias e metáforas no ensino de Física Moderna apresentadas nos livros didáticos aprovados pelo PNLD 2018. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 36, n. 1, p. 69-98, abr. 2019.

MAIA, P. F.; JUSTI, R. Learning of chemical equilibrium through modelling-based teaching. **International Journal of Science Education**, v. 31, n. 5, p. 603-630, 2009.

MAHARAJ-SHARMA, R.; SHARMA, A. Analogies in Physics Teaching: Experiences of Trinidadian Physics Teachers. **Electronic Journal of Science Education**, v. 21, n. 4, 2017.

MCGILL, Ann L. Alignable and nonalignable differences in causal explanations. **Memory & cognition**, v. 30, p. 456-468, 2002.

MELLO, D. E. ; CARVALHO, H. G. ; SILVÉRIO, L. M. Educação Tecnológica e suas Diferentes Concepções: um estudo exploratório. **Revista Educação & Tecnologia**, Curitiba, n. 1, p. 105-111, 1997.

MENDONÇA, P. C. C.; JUSTI, R. Favorecendo o aprendizado do modelo eletrostático: análise de um processo de ensino de ligação iônica fundamentado em modelagem–Parte I. **Educación química**, v. 20, p. 282-293, 2009.

MIRANDA, R. F. **O Uso de Analogia e Resolução de Problemas para Auxiliar na Aprendizagem de Conceitos Envolvidos na Teoria Microscópica da Condução Elétrica**. 86f, 2010. Mestrado em Educação do Curso de Mestrado Profissionalizante em Ensino de Física e de Matemática da Universidade Federal de Santa Maria UFSM, 2010.

MOODLEY, K., & GAIGHER, E. Teaching Electric Circuits: Teachers' Perceptions and Learners' Misconceptions. **Research in Science Education**, v. 49, n. 1, p. 73-89, 2019.

MOZZER, N. B.; JUSTI, R. Modelagem analógica no ensino de ciências. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 23, n. 1, p. 155-182, 2018.

MOZZER, N. B.; JUSTI, R. “Nem tudo que reluz é ouro”: Uma discussão sobre analogias e outras similaridades e recursos utilizados no ensino de Ciências. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 15, n. 1, p. 123-147, 2015.

MULHALL, P.; MCKITTRICK, B.; GUNSTONE, R. A Perspective on the Resolution of Confusions in the Teaching of Electricity. **Research in Science Education**, v. 31, p. 575–587, 2001.

MULHALL, P.; MCKITTRICK, B.; GUNSTONE, R. Physics Teachers' Perceptions of the Difficulty of Teaching Electricity. **Research in Science Education** 39: 515–538, 2009.

NERSESSIAN, N. J. **Model-based reasoning in conceptual change**. In: Model-based reasoning in scientific discovery. Boston: Springer, 1999. p. 5-22.

OLIVEIRA, M. M. **Conhecimento pedagógico e tecnológico do conteúdo na formação de professores na Educação Científica e tecnológica**. 168p, 2017. Dissertação de mestrado do

programa de pós-graduação em Educação Científica e Tecnológica da Universidade Federal de Santa Catarina UFSC, 2017.

OLIVEIRA, M. R. N. S. Mudanças no Mundo do Trabalho: acertos e desacertos na proposta curricular para o ensino médio (Resolução CNE 03/98): diferenças entre formação técnica e formação tecnológica. **Educação & Sociedade**, v. 21, n. 70, p. 40-62, 2000.

OLIVEIRA, D. K.; JUSTI, R; MENDONÇA, P. C. C. The use of representations and argumentative and explanatory situations. **International Journal of Science Education**, v. 37, n. 9, p. 1402-1435, 2015.

PAULA, A. C.; ARAÚJO, I. S. C. James Wertsch: influência de Vygotsky, ideias principais e implicações para a educação científica. **Encontro de debates sobre o Ensino de Química**, EDEQ n.33, 2013.

PEREIRA, A. P.; OSTERMANN, F. A Aproximação Sociocultural À Mente, De James V. Wertsch, e Implicações para a Educação em Ciências. **Ciência & Educação**, v. 18, n. 1, p. 23-39, 2012

RAMOS, F; FARIA, P. M.; FARIA A. Revisão sistemática de literatura: contributo para a inovação na investigação em ciências da educação. **Rev. Diálogo Educ.**, Curitiba, v. 14, n. 41, p. 17-36, jan./abr. 2014.

RAMOS, M. N. História e política da educação profissional. **Curitiba: Instituto Federal do Paraná**, v. 5, n. 05, p. 13-24, 2014.

ROST, M; KNUUTTILA, T. Models as epistemic artifacts for scientific reasoning in science education research. **Education Sciences**, v. 12, n. 4, p. 276, 2022.

SCHUBATZKY, Thomas; ROSENBERGER, Michael; HAAGEN-SCHÜTZENHÖFER, Claudia. Content structure and analogies in introductory electricity chapters of physics schoolbooks. **Physics Education**, v. 54, n. 6, p. 065023, 2019.

SCHWEDES, H.; DUDECK, W. G. Teaching Electricity by Help of a Water Analogy. In: **Research in Science Education in Europe: current themes and issues**. p. 50-63. P. Londres: Falmer Press, 1996.

SILVA, C. A. S.; MARTINS, M. I. Analogias e metáforas nos livros didáticos de Física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 27, n. 2: p. 255-287, ago. 2010.

SILVA, L. L. **As analogias no estudo de conteúdos conceituais de Física**. 315f, 2016. Mestrado em Educação do Programa de pós-graduação em educação da Universidade Federal de Santa Maria UFSM RS, 2016.

SILVA, M. C. **Conceitos de Educação Profissional e Tecnológica nas dissertações do mestrado em Educação Tecnológica do CEFET-MG**. 2021, 135 f. Dissertação (Mestrado em Educação Profissional e Tecnológica). Centro Federal de Educação Tecnológica De Minas Gerais Programa de Pós-Graduação em Educação Tecnológica. Belo Horizonte.

SILVA, Q. L.; BADY, B. J.; FELICETTI, L. V. . A experiência docente e o uso de novas tecnologias na Educação. **Devir Educação**, v. 4, n. 2, p. 170–187, 2020. Disponível em: <https://devireducacao.ded.ufla.br/index.php/DEVIR/article/view/310>. Acesso em: 24 Jan. 2024.

SILVA, T. A., & MOZZER, N. B. Conjugando modelagem e analogia no ensino de equilíbrio químico. **X Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, Águas de Lindóia**, Brasil, 2015.

TABER, K. S.; DE TRAFFORD, T.; QUAIL, T. **Conceptual resources for constructing the concepts of electricity: the role of models, analogies and imagination**. [s.l: s.n.], 2006. Disponível em: www.iop.org/journals/physed. Acesso em: 04 nov. 2023.

TEJINDER, K. ET AL. Teaching Einsteinian physics at schools: part 1, models and analogies for relativity. **Physics Education** 52 065012, 2017.

TESFAYE, C. L; WHITE, S. High School Physics Textbooks, Resources and Teacher Resourcefulness: Results from the 2012-13 Nationwide Survey of High School Physics Teachers. Focus On. **Statistical Research Center of the American Institute of Physics**, 2014.

THIELE, R. B.; TREAGUST, D. F. An interpretive examination of high school chemistry teachers' analogical explanations. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 31, n. 3, p. 227-242, 1994.

TOMA, M. J.; RAHMAN, S. M. H. Analogy in secondary physics teaching-learning: Teachers' views and practices in Bangladesh. In: **Asia-Pacific Forum on Science Learning and Teaching**, The Education University of Hong Kong, Department of Science and Environmental Studies, 2021. p. 1-23.

UGUR, G. ET AL. The Effects of Analogy on Students Understanding of Direct Current Circuits and Attitudes towards Physics Lessons. **European Journal of Educational Research** v. 1, n. 3, p. 211-223, 2012.

URBANETZ, Sandra Terezinha. **A constituição do docente para a educação profissional**. 2011. Tese (Doutorado em Educação) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

VILELAS, J. **Investigação: O processo de construção do conhecimento**. 2. ed. Lisboa: Edições Sílabo, 2017.

WERTSCH, J. V. **Voices of the mind: Sociocultural approach to mediated action**. Harvard University Press, 1991.

WERTSCH, J. V., DEL RIO, P., & ALVAREZ, A. Estudos socioculturais: história, ação e mediação. Em J. V. Wertsch, P. Del Rio & A. Alvarez (Orgs.), **Estudos socioculturais da mente** p. 11-38. Porto Alegre: Artes Médicas, 1998.

YANTI, F. A.; ET AL. Development Of Analog Material Based Physics Module To Improve Concept Understanding And Creative Thinking. **International Journal of Scientific & Technology Research**, v.8, n. 10, p. 1244-1248, 2019.

YENER, D. A study on analogies presented in high school physics textbooks. In: **Asia-Pacific Forum on Science Learning and Teaching**, The Education University of Hong Kong, Department of Science and Environmental Studies, 2012. p. 1-17.

ZAWACKI-RICHTER, O. et al. **Systematic reviews in educational research: Methodology, perspectives and application**. Springer Nature, 2020.

ZAMBON, L. B.; TERRAZZAN, E. A. Analogias produzidas por alunos do ensino médio em aulas de Física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 35, n. 1, p. 1-5 2013.

ZAMBON, L. B.; PICCINI, I. P.; TERRAZZAN, E. A. Comparando a Utilização de Analogias em Livros Didáticos para a Educação em Ciências. **Revista Enpec**, 8 nov. 2009.

APÊNDICE I - TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)

Título do Estudo: **Analogia circuito elétrico x circuito hidráulico: potencialidades pedagógicas de um protótipo digital de um modelo analógico para o ensino de conceitos básicos em eletrodinâmica**

Pesquisador Responsável: **DANIEL MOTA RICARDO**

O (A) Senhor (a) está sendo convidado (a) a participar de uma pesquisa. Por favor, leia este documento com bastante atenção antes de assiná-lo.

A proposta deste termo de consentimento livre e esclarecido (TCLE) é explicar tudo sobre o estudo e solicitar a sua permissão para participar do mesmo.

O objetivo desta pesquisa é Investigar as percepções dos professores e as potencialidades por vocês levantadas, quanto ao uso da analogia entre circuitos hidráulicos e circuitos elétricos e do modelo analógico correspondente no ensino de conceitos básicos da eletrodinâmica nas disciplinas de Física e disciplinas técnicas da Educação profissional e técnica de nível médio (EPTNM).

Essa pesquisa está sendo desenvolvida por Daniel Mota Ricardo, mestrando no programa de Pós-Graduação em Educação Profissional Tecnológica no Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG), sob orientação do Professor Dr. Alexandre da Silva Ferry.

Sua participação é voluntária, isto é, ela não é obrigatória, e você tem plena autonomia para decidir se quer ou não participar, bem como retirar sua participação a qualquer momento da pesquisa. Você não será penalizado de nenhuma maneira caso decida não consentir sua participação, ou desistir da mesma. Contudo, ela é muito importante para a execução da pesquisa.

Serão garantidas a confidencialidade e a privacidade das informações por você prestadas. Qualquer dado que possa identificá-lo será omitido na divulgação dos resultados da pesquisa, e o material será armazenado em local seguro. A qualquer momento, durante a pesquisa, ou posteriormente, você poderá solicitar do pesquisador informações sobre sua participação e/ou sobre a pesquisa, o que poderá ser feito através dos meios de contato explicitados neste Termo.

A sua participação consistirá em responder perguntas de um roteiro de entrevista ao pesquisador do projeto. A entrevista será transcrita e armazenada em arquivos digitais, mas somente terão acesso à mesma o pesquisador e seu orientador. Reconhecemos o risco de constrangimento durante a entrevista, e é assegurado ao entrevistado o direito de não responder às perguntas do pesquisador bem como a desistência de participação nesse projeto de pesquisa.

Não está previsto nenhum tipo de pagamento pela sua participação na pesquisa, contudo, o(a) Sr.(a) não terá nenhum custo com respeito aos procedimentos envolvidos, havendo ressarcimento de qualquer despesa relativa à sua participação (por exemplo, custo de locomoção até o local combinado para a entrevista).

É garantido ao participante indenização diante de eventuais danos decorrentes da participação desta pesquisa;

Este documento é rubricado e assinado por você e pelo pesquisador, em duas vias, sendo que uma via ficará em sua propriedade. Se perder a sua via, poderá ainda solicitar uma cópia do documento ao pesquisador responsável.

Em caso de dúvida quanto à condução ética do estudo, entre em contato com Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG), vinculado à CONEP (Comissão Nacional de Ética em Pesquisa), comissões colegiadas. O Comitê de Ética é a instância que tem por objetivo defender os interesses dos participantes da pesquisa em sua integridade e dignidade e para contribuir no desenvolvimento da pesquisa dentro de padrões éticos. Dessa forma o comitê tem o papel de avaliar e monitorar o andamento do projeto de modo que a pesquisa respeite os princípios éticos de proteção aos direitos humanos, da dignidade, da autonomia, da não maleficência, da confidencialidade e da privacidade. Você poderá acessar a página do CEP, disponível em: <<http://www.cep.cefetmg.br>> ou contatá-lo pelo endereço: Av. Amazonas, n. 5855 - Campus VI; E-mail: cep@cefetmg.br; Telefone: +55 (31) 3379-3004 ou presencialmente, no horário de atendimento ao público: às terças-feiras: 12:00 às 16:00 horas e quintas-feiras: 07:30 às 12:30 horas.

Se preferir você pode entrar em contato diretamente com o pesquisador por e-mail: danielmota83@gmail.com, telefone (31) 98116-3993 ou pessoalmente.

Caso opte pela participação na pesquisa, pedimos que rubriquem todas as páginas deste Termo, identifique-se e assine a declaração a seguir, que também deve ser rubricada e assinada pela pesquisadora.

Declaração de Consentimento

Concordo em participar do estudo intitulado: **Percepções e potencialidades do uso da analogia hidráulico-elétrica e seu modelo analógico em aulas de conceitos básicos de eletrodinâmica.**

 Nome do participante	Data: ____/____/____
 Assinatura do participante	

Eu, Daniel Mota Ricardo declaro cumprir as exigências contidas nos itens IV.3 e IV.4, da Resolução nº 466/2012.

 Assinatura do pesquisador	Data: ____/____/____
------------------------------------	----------------------

APÊNDICE II- ROTEIRO DE ENTREVISTA SEMIESTRUTURADA

Título do Estudo: Analogia circuito elétrico x circuito hidráulico: potencialidades pedagógicas de um protótipo digital de um modelo analógico para o ensino de conceitos básicos em eletrodinâmica

Pesquisador Responsável: DANIEL MOTA RICARDO

Composição	
Caracterização do perfil dos participantes da entrevista:	5 professores das disciplinas de Física e/ou disciplinas técnicas que lidam com a temática dos circuitos elétricos em cursos do eixo de Controle e Processos Industriais (Eletrotécnica, Eletrônica, Automação industrial entre outros). Critérios de inclusão: Professores das disciplinas de Física e de disciplinas técnicas relacionadas ao estudo de conceitos da eletrodinâmica de cursos do eixo de Controle e Processos Industriais, cuja atuação docente é realizada no Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, CEFET-MG, Campus Belo Horizonte. Critérios de exclusão: Professores com menos de 3 anos de experiência docente não serão incluídos na pesquisa.
Equipe de coordenação:	2 pesquisadores: Alexandre da Silva Ferry (Orientador); Daniel Mota Ricardo (Mestrando).
Condução da entrevista:	Duração prevista do encontro: 50 min; Local: Alguma sala de aula disponível na própria instituição de trabalho dos participantes, reservada previamente com a direção da escola. Realização: maio/2023 – Essa é apenas uma previsão, a depender do desenvolvimento das etapas da pesquisa, da disponibilidade dos participantes e do parecer do Comitê de Ética. Nº de entrevistas: Cada professor será entrevistado individualmente, sendo, portanto, um total de 6 entrevistas.

Dimensões de análise	Informações solicitadas durante a entrevista
Levantamento do entendimento que os professores fazem sobre o conceito de analogia e a importância desta em suas práticas educativas	Como você define o termo analogia? Você acha que o uso de analogias pode facilitar a compreensão estudantil dos conceitos da física? Em sua experiência profissional, você já recorreu a alguma analogia para ensinar algum conteúdo? Por quê? Qual(is)? O uso dessa(s) analogia(s) foi planejado, ou seja, antes da aula você já tinha a intenção de fazê-la, ou foi espontâneo, isto é, surgiu numa tentativa de esclarecer algum tópico ou de tirar alguma dúvida ou dificuldade aparente dos alunos?
Levantamento das ideias que os professores fazem do papel das analogias para o ensino da Eletrodinâmica:	Na sua opinião, ensinar os conceitos básicos de circuitos elétricos oferece algum desafio particular em relação a outros conteúdos da física? Pela revisão de literatura que fiz para o desenvolvimento desta pesquisa, a eletrodinâmica é o conteúdo curricular de Física com mais estudos sobre o uso de analogias. Na sua opinião, qual é o motivo deste resultado? Já utilizou ou conhece alguma analogia para o ensino de Eletrodinâmica? Qual (is)? De onde você conhece essa (s) analogia(s) ?
Conhecimento e percepções dos professores sobre a analogia entre os circuitos hidráulico e elétrico	<i>*Caso essa analogia ainda não tenha sido citada pelo professor*</i> Você conhece a analogia entre circuitos hidráulico e elétrico? Você considera que esta analogia é um importante recurso didático para ser utilizado em sala de aula? Usa ou utilizaria esta analogia em suas aulas? Quais os conceitos da Eletrodinâmica você abordaria caso fosse utilizar esta analogia em sala de aula? Você consegue apontar alguma limitação/inadequação para o uso desta analogia em sala de aula ?
Apresentação do Modelo analógico prototipado: O pesquisador apresentará os temas/questões a serem discutidas sobre o uso do modelo analógico prototipado para o ensino de Eletrodinâmica.	
Como os professores participantes percebem e compreendem o modelo analógico prototipado apresentado?	Como o modelo analógico apresentado poderia ser empregado no ensino de Eletrodinâmica? Quais seriam as vantagens e as desvantagens, na percepção dos participantes, de se usar o modelo apresentado como recurso de mediação didática em sala de aula? Como os domínios da analogia e da modelagem são percebidos pelos participantes?

Como os professores participantes percebem e compreendem o modelo analógico prototipado apresentado?	Você utilizariam esse recurso (modelo analógico construído) em sala de aula para ensinar os conceitos básicos da Eletrodinâmica? Vocês saberiam identificar para quais conceitos iniciais da Eletrodinâmica esse recurso foi criado? Quais conceitos da Eletrodinâmica poderiam, na percepção de vocês, ser explorados por meio desse recurso? Para esses conceitos, como você avalia a abrangência desse recurso? Haveria alguma limitação do recurso sobre os conceitos mencionados? Já conhecia algum modelo (analógico) similar? Se sim, qual? Se fosse utilizar esse modelo em sala de aula, você faria alguma ressalva ou ajuste com seus alunos? Quais seriam? Por quê? Você já conhecia as analogias que fundamentaram a criação desse modelo? Na sua opinião, esse tipo de recurso estimula o interesse do aluno em sala de aula? Havendo disponibilidade deste recurso, materializado, na escola você o utilizaria para ensinar Eletrodinâmica? Pensando numa possível articulação entre Ciência e Tecnologia, como você percebe o processo de ensino e de aprendizagem mediado ou fundamentado em modelagem? Para você, sob a perspectiva de uma educação tecnológica por meio da Física (ou em Física), quais seriam as vantagens e/ou desvantagens de se empregar modelos fundamentados em analogias como recurso de mediação didática na educação em Ciência e Tecnologia?
Encerramento (10 minutos)	Aplicação do questionário de avaliação da atividade. Esclarecimento de quaisquer dúvidas a respeito da discussão realizada ou do modo como os registros serão tratados posteriormente. Agradecimento pela participação e contribuição com a pesquisa.

APÊNDICE III - TERMO DE ANUÊNCIA



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA

TERMO DE ANUÊNCIA

Eu, Eláudia Gomes Franca

na qualidade de responsável pelo Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG), autorizo **Daniel Mota Ricardo**, aluno do curso de Mestrado do Programa de Pós-graduação em Educação Tecnológica desta instituição, portador de carteira de identidade nº MG-7.790.082 e CPF nº 059.573.246-12 a realizar a pesquisa intitulada "Analogia circuito elétrico x circuito hidráulico: Análise estrutural e construção de um modelo analógico para o ensino de conceitos básicos em Eletrodinâmica", sob a orientação do **Dr. Alexandre da Silva Ferry**.

Declaro ter sido informado/a que as atividades da pesquisa e seus produtos não terão qualquer implicação para o CEFET-MG e para os participantes da investigação, de modo a não provocar qualquer dano, prejuízo ou constrangimento de ordem educacional, sociocultural, financeiro ou pessoal, e que deverão ser conduzidas dentro dos princípios e orientações dadas pelo Comitê de Ética em Pesquisa. O pesquisador responsável, Daniel Mota Ricardo, se comprometeu a encaminhar à instituição cópia dos produtos gerados a partir da pesquisa.

Assim, o presente documento autoriza a realização de uma pesquisa qualitativa, que envolverá a realização de entrevistas semiestruturadas e de grupo focal envolvendo professores do CEFET-MG. Contudo, a pesquisa não envolverá os alunos da Instituição.

Essa declaração somente terá validade mediante a autorização e o parecer favorável do Comitê de Ética em Pesquisa do CEFET-MG para a realização da referida pesquisa.

Belo Horizonte, 02 de setembro de 2022.

Eláudia Gomes Franca

ASSINATURA DO RESPONSÁVEL PELA INSTITUIÇÃO

Estou ciente dos termos deste documento, comprometo-me a observá-los e arcar com as consequências do seu eventual não cumprimento.

Daniel Mota Ricardo

Daniel Mota Ricardo – Mestrando

Alexandre da Silva Ferry

Dr. Alexandre da Silva Ferry - Orientador



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE
MINAS GERAIS
SISTEMA INTEGRADO DE PATRIMÔNIO,
ADMINISTRAÇÃO E CONTRATOS

FOLHA DE ASSINATURAS

Emitido em 02/09/2022

TERMO DE ANUÊNCIA N° 3/2022 - DEDU (11.56.05)

(N° do Protocolo: NÃO PROTOCOLADO)

(Assinado digitalmente em 02/09/2022 12:48)

ALEXANDRE DA SILVA FERRY

COORDENADOR - TITULAR

PPGET (11.52.05)

Matrícula: 2086993

(Assinado digitalmente em 02/09/2022 14:07)

CLAUDIA GOMES FRANCA

DIRETOR - TITULAR

DCNS (11.55)

Matrícula: 2281592

(Assinado digitalmente em 02/09/2022 13:16)

DANIEL MOTA RICARDO

DISCENTE

Matrícula: 20215007810

Para verificar a autenticidade deste documento entre em <https://sig.cefetmg.br/documentos/> informando seu número: 3, ano: 2022, tipo: TERMO DE ANUÊNCIA, data de emissão: 02/09/2022 e o código de verificação: 8084cac83b

APÊNDICE IV - TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA USO DE VOZ E/OU IMAGEM

Eu, _____ de posse do TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO da pesquisa intitulada ANALOGIA CIRCUITO ELÉTRICO X CIRCUITO HIDRÁULICO PARA O ENSINO DE FÍSICA, após ter ciência e entendimento quanto aos (i) riscos e benefícios que essa pesquisa poderá trazer e (ii) métodos que serão usados para a coleta de dados; e por estar ciente da necessidade da gravação, AUTORIZO, por meio deste termo, que o pesquisador Daniel Mota Ricardo capture gravação de voz de minha pessoa para fins EXCLUSIVOS da referida pesquisa científica e com a condição de que esse material, na sua forma original, não seja divulgado. Nessas condições, apenas o material derivado do original poderá, nos termos desta autorização, ser divulgado em meios científicos, tais como, teses, dissertações, trabalhos de conclusão de curso, artigos em periódicos, congressos e simpósios ou outros eventos de caráter científico-tecnológico – no sentido de preservar o meu direito ao ANONIMATO e demais direitos, como definido na regulamentação ética da pesquisa envolvendo seres humanos no Brasil.

As gravações de voz ficarão sob a propriedade e a guarda do pesquisador responsável pela pesquisa. Terão acesso aos arquivos o Orientador do projeto: Professor Dr. Alexandre da Silva Ferry.

Esta AUTORIZAÇÃO foi concedida mediante o compromisso do(s) pesquisador(es) citados em garantir-me que:

1. a transcrição da gravação de minha voz me seja disponibilizada, caso a solicite;
2. os dados coletados serão usados exclusivamente para gerar informações para a pesquisa aqui tratada e outras publicações científicas dela decorrentes;
3. a minha identificação não será revelada em nenhuma das vias de publicação científica das informações geradas pela pesquisa;
4. a utilização das informações geradas pela pesquisa para qualquer outra finalidade não especificada no TCLE somente poderá ser feita mediante minha autorização;
5. os dados coletados serão armazenados por 5 (cinco) anos, sob a responsabilidade do pesquisador responsável pela pesquisa; e, após esse período, serão destruídos;
6. a interrupção de minha participação na pesquisa poderá ser feita a qualquer momento, sem nenhum ônus, mediante mera comunicação ao pesquisador responsável, que, nesse caso, deverá providenciar a devolução (e adoção de medidas condizentes com essa situação) do

material relacionado a esta autorização.

Valido esta autorização assinando e rubricando este documento em duas vias de igual teor e forma,
ficando uma em minha posse.

_____, ____ de _____, ____

Local e data

Nome completo do Participante da Pesquisa

Assinatura do Participante da Pesquisa

Nome e Rubrica do Pesquisador Responsável

APÊNDICE V - TRANSCRIÇÃO DAS GRAVAÇÕES DA ENTREVISTA SEMIESTRUTURADAS

PESQUISADOR: A primeira pergunta que eu faço é como você define o termo analogia?

PROFESSOR 1: Ah, tá. É quando eu tenho um fenômeno próximo daquele que eu quero explicar, de mais fácil compreensão para o aluno.

PESQUISADOR: Ótimo. E você acha que o uso de analogias pode facilitar a compreensão estudantil dos conceitos da Física?

PROFESSOR 1: Sim.

PESQUISADOR: E em sua experiência profissional, você já recorreu a alguma analogia para ensinar algum conteúdo?

PROFESSOR 1: Todos os conteúdos, toda hora. Toda hora tenho alguma analogia para fazer.

PESQUISADOR: E o uso dessa analogia ou dessas, geralmente é planejado, ou seja, antes da aula você já pensa nas analogias que você vai fazer? Ou geralmente é mais espontâneo? Surge ali dependendo da demanda?

PROFESSOR 1: Eu planejo as analogias. Só que as analogias que saem na hora da aula, às vezes nem são aquelas que eu planejo. Saem espontâneos, mas elas são planejadas. Só que o que sai às vezes eu não improviso, que depende da pergunta do aluno. Depende do que o aluno vai falar, depende de como a turma vai entender. Que tem analogia também que não funciona. Tem analogia que você faz e o pessoal fica olhando para a sua cara e fala, não tenho a menor ideia do que você está falando. Aí você tem que dar o pulão na hora.

PESQUISADOR: Então indo para o segundo bloco, levantamento das ideias, que o senhor faz o papel das analogias para o ensino de eletrodinâmica. Então na sua opinião, ensinar os conceitos básicos de circuitos elétricos oferece algum desafio particular em relação a outros conteúdos da Física?

PROFESSOR 1: Eu até acho que ensinar circuitos é mais fácil que ensinar mecânica, que ensinar ótica. Por quê? Os circuitos elétricos eu consigo montar um circuito fácil, relativamente fácil. E consigo mostrar as relações de série, paralelo, o que é a corrente elétrica, o que é a tensão, o que é fase, o que é neutro, positivo, negativo, maior potencial, menor potencial. O que é difícil em um circuito elétrico é eles entenderem o fenômeno microscópico. Microscopicamente o que está acontecendo. Mas o fenômeno em si, uma lâmpada brilhando, outra lâmpada apagando, o circuito funcionando é relativamente bem mais fácil.

PESQUISADOR: na revisão de literatura que eu fiz, na minha pesquisa, no desenvolvimento da pesquisa, a eletrodinâmica é o conceito, o conteúdo curricular de Física com mais estudos sobre o uso de analogias. Aí na sua opinião, qual o motivo desse resultado?

PROFESSOR 1: Ah tá, por causa dessa coisa microscópica. Parece uma caixa preta, o circuito elétrico. Então você não está entendendo exatamente por que uma lâmpada acende quando você liga na bateria, o que está sendo transportado. Então eu acho que é mais essa questão microscópica mesmo

o que é. Já as leis de Newton, essa ensinar mecânica, é muito direto. Você vê a colisão acontecendo, você vê as coisas acontecendo, a ótica, você vê a luz refratando.

PESQUISADOR: Você já utilizou ou conhece alguma analogia para o ensino da eletrodinâmica? Se sim, de onde você conhece essa analogia?

PROFESSOR 1: Corrente elétrica como sendo fluxo de água. Isso aí é na história da ciência mesmo, no livro do Ampère que eu li a primeira vez, que é a tradução do Koch, Alexandre Koch. Aí do livro do Ampère que ele fala que a corrente elétrica é um fluxo. E também a diferença de potencial, que é quando você liga, isso aí acho que foi do Gaspar, livro didático do Gaspar, antigamente. Que eu vi que você pode falar que é diferente de potencial, que surge uma corrente elétrica para equilibrar diferente de potencial. Do mesmo jeito quando você pega dois tanques de um fluido, que tem níveis diferentes de água e liga eles por meio de uma tubulação. Então essa diferença de nível é semelhante a diferença de potencial. Mas acho que foi no livro do Gaspar que eu vi isso.

PESQUISADOR: Essas analogias que você citou, tanto entre corrente elétrica e o fluxo de água, quanto a diferença de níveis de água com a diferença de potencial elétrico. Você considera que essas analogias são importantes recursos para ser utilizado em salas de aula?

PROFESSOR 1: São. São importantes e são eficientes.

PESQUISADOR: Quais os conceitos da eletrodinâmica você abordaria caso fosse utilizar essa analogia em sala de aula?

PROFESSOR 1: Diferença de potencial, corrente elétrica como fluxo de líquido. Ah, também tem uma outra analogia que eu já usei que é bem legal. É quando você faz um plano inclinado, coloca vários pregos e você coloca uma bolinha descendo para simular resistência elétrica. Também é muito eficiente.

PESQUISADOR: Dessas analogias que você citou, você consegue apontar alguma limitação ou inadequação do uso dessa analogia ou dessas analogias em sala de aula?

PROFESSOR 1: O problema é justamente o seguinte. O menino dos dois tanques, ele vê dois tanques, mas por que os dois tanques tendem a equilibrar? Porque você tem a força gravitacional, você tem a energia potencial gravitacional que está acontecendo. E aí quando você vai transpor isso para falar de diferença de potencial, fica complicado. Porque o que é a tensão? Tensão é trabalho sobre carga. Tem sempre aquele aluno que vai perguntar, mas onde é que é a carga aí e tal? Então, o problema é que tem que ficar em um campo mais quali. Quando você tenta apertar um pouquinho, fica difícil. Porque aí você vê as especificidades do que é eletrodinâmica e do que é hidrodinâmica.

PESQUISADOR: Então, você acha que o próprio entendimento do domínio base, nesse caso, prejudica o entendimento da própria analogia? O entendimento, no caso, do domínio base é o circuito hidráulico. Você acha que o entendimento em si do domínio base prejudica um pouco o entendimento?

PROFESSOR 1: Se o aluno for muito experiente, se o aluno já souber, já tiver passado, já entender o que é tensão, o que é corrente elétrica e tudo mais, ele vai entender? Vai. Mas ele vai querer questionar por que é tanto. Então, essas analogias, eu acho que elas se encaixam mais como um

pré-requisito. Você vai mostrar o experimento, você vai falar que isso acontece por causa disso. E sempre tendo um circuito elétrico real do lado. Principalmente na hora que você conseguir deixar ele ligar até a bateria acabar. E aí você fala, a bateria acabou do mesmo jeito que equilibrou o nível dos líquidos. Mas não pode passar muito disso não. Porque senão o cara vai começar a querer catar as especificidades da carga elétrica e movimento no circuito hidráulico aí trava. Aí você não consegue explicar muito. Aí eu acho que é uma estratégia boa inicial para você mostrar qualitativamente o que é o fenômeno, para você entender a dinâmica do fenômeno, mas você não pode entrar com muitos detalhes. Porque afinal de contas cada fenômeno tem a sua dinâmica, a sua maneira de ser visto.

PESQUISADOR: Como você percebeu e compreende esse modelo analógico prototipado. Que eu te apresentei. Então, para você, como o modelo analógico apresentado poderia ser empregado no ensino de eletrodinâmica? Esses conceitos básicos da eletrodinâmica?

PROFESSOR 1: Eu acho que seria primeiro um roteiro. Você daria o modelo para o menino e pedia para ele fazer um roteiro exploratório para ele tentar identificar o que é isso, o que é aquilo, como funciona. Mas num primeiro momento não relacionando com a eletrodinâmica. Só fazendo, olha, o que é isso? Isso é o fluxo que vai passar ali, o que é isso? Isso e aquilo. Aí depois você faria um segundo momento de exploração, onde você tentaria pescar os conceitos de eletrodinâmica dentro do modelo hidrodinâmico. Mas primeiro eu acharia que um roteiro, elaborar um roteiro para o aluno. E depois o professor passar um roteiro para ele de perguntas diretas. Para ele manipular, fazer a primeira exploração. Ele mexe e fala o que é. Aí depois o professor faz perguntas mais específicas. Olha, se eu mexer nisso, o que vai acontecer? Isso é semelhante ao quê? Aí ele vai fazer uma coisa mais direcionada. Seria esses três momentos aí daria para fazer isso.

PESQUISADOR: Quais seriam as vantagens e desvantagens, na sua percepção, de se usar o modelo apresentado como recurso de mediação didática em sala de aula?

PROFESSOR 1: A vantagem é que o aluno vai visualizar. Ele não vai precisar já direto mexer com conceitos de eletrodinâmica. A desvantagem que eu acho é que isso vai tomar mais tempo do conteúdo. A desvantagem que eu acho, por exemplo, é que infelizmente o número de aulas da rede estadual e das outras redes diminuíram. Então o professor acaba tendo uma ou duas aulas por semana. Então ele tem que dar o conteúdo de uma maneira mais rápida. Então, por exemplo, o tempo que ele gastaria para falar de circuito e de duas aulas passaria para quatro ou seis. Seria melhor qualidade? É. Mas aí do ponto de vista de organização dos espaços e horários escolares, atrapalharia por causa disso. Mas isso não é nenhum problema do professor, não. Isso é problema das políticas educacionais. Mas o problema que eu vejo é isso. O professor acabaria... Ele provavelmente não optaria por usar essa estratégia por causa do tempo dele.

PESQUISADOR: Até saindo um pouco do que está na estrutura da entrevista, uma das coisas que a gente viu fazendo análise de livro didático, das analogias, é uma diferença enorme, por exemplo, do PNLD 2018 para o 2021, onde já tem as áreas de conhecimento. E aí, enquanto no livro anterior, do PNLD 2018, a gente achou só de analogia em circuitos elétricos, desses conceitos básicos, a gente achou, se eu não me engano, por volta de 20 analogias nos livros. No PNLD 2021, a gente achou uma única analogia, um único livro que usa apenas uma.

PROFESSOR 1: Eles enxugaram demais, achou muito enxuto, muito ruim. Ficou muito ruim a qualidade dos livros desses, pobre.

PESQUISADOR: Pensando numa situação que você tenha tempo de aulas para trabalhar circuitos elétricos, essa parte introdutória de circuitos elétricos, você utilizaria esse tipo de recurso?

PROFESSOR 1: Sim, mas eu faria daquele jeito que falei, faria dois momentos de exploração e um momento direcionado.

PESQUISADOR: Quais conceitos da eletrodinâmica você identifica que poderia, na sua percepção, ser explorado por meio desse recurso?

PROFESSOR 1: Tá, diferença de potencial, corrente elétrica, resistência elétrica.

PESQUISADOR: Você acha que a parte de circuito em paralelo e em série também daria para ter alguma...

PROFESSOR 1: Daria sim, só que eu não sei se eu arriscaria falar disso, que aí eu elevaria o nível de complexidade.

PESQUISADOR: Então, para esses conceitos que você tinha levantado, primeiramente, você acha que tem alguma limitação desse modelo analógico para trabalhar esses conceitos que você levantou?

PROFESSOR 1: Acho que sim. Acho que quando você começa a colocar o circuito complexo demais, você perde muito tempo para explicar o modelo analógico do que o fenômeno que eu quero. Então ele acaba sendo um empecilho em vez de facilitador. Na hora que você vai dividir, por exemplo, fazer o circuito paralelo, que o fluxo de água, o fluxo do fluido tem que dividir, aí você tem que falar, não, uma certa quantidade de água vai para lá, vai para cá, você acaba perdendo muito tempo para falar disso. Eu acho que ele é excelente, o circuito resistor de corrente contínua. Por exemplo, eu acharia muito complicado se um aluno me perguntasse, por exemplo, como é que isso funcionaria em relacionado a ligar isso na tomada, que é corrente alternada. Aí isso tem uma limitação. Então, ele é muito bom, eu acho que esse modelo vai funcionar ótimo. Corrente contínua, um circuito ligado num resistor.

PESQUISADOR: Vocês já conhecia algum modelo analógico similar a esse?

PROFESSOR 1: Já. É um feito manualmente mesmo, um modelo físico com duas bombas e a água passando de uma para outra e passando por uma rampazinha, por um tubo caído, para simular o que é queda de tensão na resistência elétrica.

PESQUISADOR: Se fosse utilizar esse modelo em sala de aula, você faria alguma ressalva ou ajuste com seus estudantes?

PROFESSOR 1: Ah, não sei. Tipo assim, a sala de aula, nada sobrevive ao planejamento, tudo que você planejou não sobrevive à sala de aula. Então, eu levaria, mas aí como que adequar ia depender da dinâmica da aula.

PESQUISADOR: Você já conhecia as analogias que fundamentaram a criação desse modelo?

PROFESSOR 1: Já, já ouvi, já tinha conhecimento.

PESQUISADOR: Na sua opinião, esse tipo de recurso estimula o interesse do aluno em sala de aula?

PROFESSOR 1: Sim, duas razões. Primeiro, que é um facilitador do conteúdo. E segundo, os meninos gostam muito de modelos digitais. Eles gostam de modelos digitais. Provavelmente, eles vão ficar mais interessados em como você programou isso, em qual é a linguagem que você programou, como é que você fez isso, do que é propriamente dito, do que é corrente, do que é tensão. Mas eles vão gostar. Você vai despertar uma outra área de conhecimento. Você vai expandir o campo conceitual deles.

PESQUISADOR: E havendo disponibilidade desse recurso, não digital, mas materializado, que eu construísse mesmo, por impressão 3D, esse modelo, se tiver disponível aqui no CEFET, você utilizaria para ensino de eletrodinâmica?

PROFESSOR 1: Sim, sim. Só que eu acho que ia ser mais interessante, em vez desse modelo pronto, levar para a sala, fazer uma coisa maker. Pegar pequenos pedaços, talvez fazer uma coisa bem mais de baixo custo e dar uma oficina para eles montarem. Porque, no caso, não é perder. Eu já ia gastar uma certa aula. Eu gastaria também uma aula para eles montarem. Para eles adquirirem habilidades manuais, para eles fazerem o modelo deles, identificar as partes e depois fazer o roteiro exploratório.

PESQUISADOR: Pensando agora no ensino de uma maneira mais geral, com o uso de modelos, como você percebe o processo de ensino e aprendizagem mediado ou fundamentado em modelagem? Pensando nisso que você acabou de falar também, na cultura maker, nesse processo completo de modelagem.

PROFESSOR 1: Ah tá, eu acho que você tem uma expansão de aprendizado. Essa experiência de você fazer, por exemplo, uma analogia com o modelo físico, você cria, primeiro que você cria uma cultura de tocar. O aluno gosta de tocar, pegar algo, você materializa algo. Então, você aumenta o conhecimento, porque você vai ter mais um canal que vai entrar informação. Não é só visual, não é só auditiva, é também sinestésico. Então, eu acho que você tem um ganho. Você aumenta as habilidades envolvidas, você aumenta os campos de conceitual que você vai mexer. Então, eu acho que é bem válido. Mas tem uma limitação do tempo.

PESQUISADOR: Para você, sobre a perspectiva de educação tecnológica, com a Física, por meio da Física ou em Física, quais seriam as vantagens e desvantagens de se empregar modelos fundamentados em analogia? Não apenas essa analogia, não. De uma maneira geral, modelos fundamentados em analogia. Então, quais seriam as vantagens e desvantagens do uso desse tipo de modelo como recurso de mediação didática?

PROFESSOR 1: A desvantagem que eu acho, de novo, é o tempo. Você tem um tempo maior para preparar. Por quê? Para eu fazer uma boa analogia, eu tenho que saber qual é o conhecimento prévio dos meus alunos. Para eu fazer uma analogia baseada naquilo que eles saibam. Então, eu tenho que construir essa analogia e aí eu emprego. E qual é a outra desvantagem? A minha vantagem é que você aproxima, você torna o conhecimento abstrato um pouco mais tangível para o aluno. A desvantagem é que eu posso errar a mão. Eu posso errar a mão por quê? Eu tenho que falar da

analogia, mas a analogia não é a coisa mais importante. O conjunto de conceitos formais é que é o mais importante. Então, eu não posso perder muito tempo explicando a analogia, que senão vai estar em detrimento ao conteúdo formal. Então, a analogia tem que ser simples, tem que ser rápida, tem que mostrar o recado dela. Deu o recado dela, já passa a volta para o conhecimento formal.

PESQUISADOR: Perfeito, professor. Alguma outra consideração, alguma outra fala que você gostaria de fazer a respeito de tudo que a gente conversou?

PROFESSOR 1: Não, tudo certo.

PESQUISADOR: Como você define, em suas palavras, o termo analogia?

PROFESSOR 2: Bom, acho que analogia seria você pegar um exemplo diferente do exemplo que você está trabalhando, uma outra situação diferente, mas que tem similaridades. Então você tem o objetivo de explicar um certo assunto, você encontrar uma outra situação, aparentemente que não tem nada a ver, mas que a lógica por trás daquilo ali, os princípios são semelhantes. E aí dá para você aproveitar essa analogia para atingir o seu objetivo. Eu imagino que seja isso.

PESQUISADOR: Você acha que o uso de analogias pode facilitar a compreensão estudantil dos conceitos da Física?

PROFESSOR 2: Bom, acho que analogia seria você pegar um exemplo diferente do exemplo que você está trabalhando, uma outra situação diferente, mas que tem similaridades. Então você tem o objetivo de explicar um certo assunto, você encontrar uma outra situação, aparentemente que não tem nada a ver, mas que a lógica por trás daquilo ali, os princípios são semelhantes. E aí dá para você aproveitar essa analogia para atingir o seu objetivo. Eu imagino que seja isso.

PESQUISADOR: Você acha que o uso de analogias pode facilitar a compreensão estudantil dos conceitos da Física?

PROFESSOR 2: Acredito que sim, principalmente nas questões mais abstratas. E quanto mais abstrato for, acho que a analogia vai ficando mais interessante.

PESQUISADOR: Em sua experiência profissional, você já recorreu a alguma analogia para ensinar algum conteúdo? Por que você fez isso e quais analogias você usou?

PROFESSOR 2: Eu acho que eu nunca fiz isso de forma sistemática, no sentido de pesquisar o que existe na literatura de analogia. Eu sempre usei mais que intuitivamente mesmo. É meio que natural, até sem planejar demais, vez ou outra, fazer alguma analogia dentro de sala de aula. Até o caso do circuito mesmo, é uma coisa comum de a gente fazer analogia com a mecânica. Mas aí já é uma coisa também mais tradicional dos livros. Mas eu acho que eu nunca usei de forma planejada e sistemática, não. Mas vez ou outra, quando você está ali passando um aperto na sala de aula, sei lá, às vezes o aluno não entendeu. Aí você fica numa situação que você tem que buscar uma saída. Aí nesses momentos eu acho que todo professor acaba tentando puxar uma analogia da cartola ali. Mas nada muito sistematizado e beleza.

PESQUISADOR: Acho que você já respondeu a minha próxima pergunta, eu vou ler, mas você pode só dar um ok e a gente segue. O uso dessa analogia que você relatou, foi um uso planejado, ou seja, antes da aula você já tinha a intenção de fazê-la, ou foi espontâneo, isto é, surgiu numa tentativa de esclarecer algum tópico ou tirar alguma dúvida ou dificuldade aparente dos alunos?

PROFESSOR 2: Comigo foi mais espontâneo, né.

PESQUISADOR: Agora entrando mais no âmbito de analogias para o ensino da eletrodinâmica. Na sua opinião, ensinar os conceitos básicos de circuitos elétricos oferece algum desafio particular em relação a outros conteúdos da Física?

PROFESSOR 2: Acho que sim, né, porque a mecânica é um pouco mais palpável, né. Quando você vai para a eletrodinâmica, até a parte de elétron que você acha que é uma coisa mais concreta, acaba não sendo. Então eu vou dar um exemplo desse ano, né. Quando você tem uma corrente que se divide em correntes parciais, eu tenho percebido que os alunos têm dificuldade de entender isso, né. Que a corrente total, ela se divide, depois ela se soma, voltando ao mesmo valor. Quer dizer, isso que para mim seria algo trivial e óbvio, para eles não é, né. Aí de repente você usar até a analogia da água mesmo, pode até ter a ver com o seu trabalho aí, né. Aí eles entendem melhor, né. Então acho que essa parte da eletrodinâmica, por ser muito abstrata, essa coisa de campo elétrico, campo magnético e falar de partículas que a gente não enxerga, né. Eu acho que é interessante, né. Mais até do que uma área como a mecânica que é bem concreta, né, digamos assim. Você pega um bloco, força, empurrar, puxar, né. Já é muito explícito ali, né.

PESQUISADOR: Então, professor, no início da minha pesquisa, eu fiz uma revisão de literatura e nessa revisão de literatura foi apontado que a eletrodinâmica é o conteúdo curricular de Física com mais estudos sobre o uso de analogias. Na sua opinião, qual é o motivo desse resultado?

PROFESSOR 2: É, eu não sou estudioso de analogia, né, mas pensando aqui, né. Imagino que seja pela abstração mesmo dessa parte, né, de envolver campos, da gente estar falando ali de conceitos complicados, né, como resistência elétrica, diferença de potencial e a própria partícula ali, o elétron não ser algo tão concreto quanto um bloco, né. Imagino que seja por aí.

PESQUISADOR: Você já utilizou ou conhece alguma analogia para o ensino de eletrodinâmica? Se sim, qual analogia ou quais e de onde você conhece essa analogia?

PROFESSOR 2: Eu conheço um pouco esse circuito padrão, né. Você pega aqui uma bolinha, né, aí o papel da pilha, uma pessoa, sei lá, faz um trabalho para erguer a bolinha, aí a energia potencial gravitacional vai se transformando em cinética, né. Você pode botar um atrito para simular o efeito Joule aí. Essa é uma analogia bem clássica dos livros de Física, né, que a gente acaba naturalmente utilizando bastante, né. E também essa coisa da corrente elétrica, eu gosto de pensar no fluxo de água, né, para pensar na continuidade.

PESQUISADOR: Dessas duas analogias que você citou agora, você considera que essas analogias são importantes recursos didáticos, né, para ser utilizado em sala de aula?

PROFESSOR 2: Acredito que sim, porque principalmente o que interessa no circuito para mim é o que acontece com a energia, né. E essa parte da mecânica eu acredito que facilite, né. Porque quando você fala de energia potencial gravitacional e cinética, como é algo mais visível, né, para os alunos, então fazer essa discussão do que está acontecendo do ponto de vista de energia ali dentro, usando

essa analogia, em vez de falar só da energia potencial elétrica, né, eu acho que ajuda bastante essa impressão.

PESQUISADOR: Então você já citou conceitos de potencial, né?

PROFESSOR 2: É, energia, fazer a troca, quer dizer, o que acontece em termos de energia é análogo, né. Só que se eu usar energia potencial gravitacional no papel da energia potencial elétrica, né, pegando um circuito mecânico, né, digamos assim, né.

PESQUISADOR: Além desse conceito, quais outros conceitos da eletrodinâmica você abordaria, caso fosse utilizar essa analogia em sala de aula? Pode ser tanto as duas analogias, como você falou, com água, né, com fluxo de água, ou essa do potencial?

PROFESSOR 2: Deixa eu pensar aqui, eletrostática, você tem ali as partículas da lei de Coulomb, quer dizer, as analogias que eu faço mais nessa parte aí de eletrodinâmica é mais com a mecânica mesmo, né. Embora isso é sempre um risco, né, porque quando você usa uma analogia, aí essa dificuldade, quer explicar uma coisa, passa a ser três, né. Aí você tem que explicar a eletrodinâmica, a mecânica, que não necessariamente ele sabe, e a relação entre as duas. Mas assim, partindo do princípio, que o menino tem uma facilidade, já tem uma experiência com a mecânica, né, e que entende um pouco de energia mecânica, aí eu acho que ajuda bastante. O que me vem na cabeça de usar é mais isso mesmo, sabe. Até porque campo elétrico, campo magnético são conceitos que eu nunca vi, assim, uma analogia mais simples de fazer, né. Exceto com o campo gravitacional, né, se eu souber.

PESQUISADOR: Fazer uma pergunta baseada no que você me respondeu agora. Você acha, então, que o uso de certas analogias pode trazer algumas dificuldades em relação ao domínio base, né. Na compreensão desse domínio base.

PROFESSOR 2: Na verdade, eu estava mais fazendo uma brincadeira mesmo, né. Mas assim, para a analogia funcionar, quer dizer, quando você conseguir uma analogia do dia a dia, aí beleza. Aí é só, não tem, não tem o perigo, né, digamos assim. O perigo é a analogia ser pobre, né. Ao mesmo tempo que ela reforça uma coisa que você quer, ela pode também levar a erros, né, dependendo da analogia que você escolhe, né. Mas quando você pega uma analogia, sei lá, da mecânica, sei lá, estou aqui, quero discutir energia no circuito, mas eu vou pegar uma discussão da energia mecânica aqui. Quer dizer, isso pressupõe que o menino... pressupõe que o menino entende aquilo ali, que hoje em dia, infelizmente, não é uma hipótese necessariamente, uma premissa necessariamente correta, né. Então você pode buscar essa analogia ali e ela não ser muito efetiva, porque o menino também não entende nada de conservação da energia mecânica, né. Mas ainda assim, eu acho que vale a pena, né, porque a gente tem que partir do princípio que se ele está ali no terceiro ano, por exemplo, ele estudou aquilo, foi aprovado e está ali, né. Então eu acho que mais ajuda do que corre risco, né, na verdade.

PESQUISADOR: Das analogias que você já citou, você consegue apontar alguma limitação ou inadequação para o uso dessa analogia em sala de aula?

PROFESSOR 2: Não, essa do circuito mecânico, né, eu vejo... não vejo muita limitação nela, não. Acho que ela tem muita coisa ali... é análogo mesmo, né, digamos assim, do ponto de vista de energia, né. Dá para fazer uma... não consigo ver, assim, indução a erros importantes nessa analogia, não.

PESQUISADOR: Então agora a gente termina a primeira parte da entrevista. Bem, vamos para a segunda parte da entrevista, onde eu acabei de apresentar o modelo prototipado digitalmente por o professor Leonardo. E agora a gente vai ver, então, começar a ver perguntas sobre como o professor percebe e compreende o modelo analógico prototipado apresentado. Primeira pergunta. Como o modelo analógico apresentado poderia ser empregado no ensino da eletrodinâmica? Pensando nos conceitos básicos, iniciais mesmo dos circuitos elétricos.

PROFESSOR 2: É, pelo que eu vi aí, fazendo análise geral, né, do que você me explicou aí, essa parte de... do que acontece dentro de uma pilha dá uma analogia interessante, né, da bomba fazendo o papel da pilha, né. Vai ter que também, quer dizer, no caso da pilha você tem ali a energia química se transformando, gerando energia potencial elétrica, né. Aqui vai faltar também, nesse modelo, na minha opinião, né, falar de onde vem essa energia da bomba, né, que ela vai dar essa energia potencial gravitacional, mas acho que é uma analogia interessante. Essa parte também de principalmente continuidade de corrente, né, da água, acho que fica bem mais palpável para os alunos, também acho que é bem interessante. Isso que você falou de regular o fluxo aqui, né, nesse segundo, como é que chama isso aqui? Uma é a chave, né, o outro é um regulador de...

PESQUISADOR: Isso, o segundo seria um regulador de fluxo.

PROFESSOR 2: Se for a espessura da passagem de água, me surgiu essa dúvida que eu te falei, né, então assim, eu não sei, teria que revisar lá na hidrodinâmica e tal, se variando essa espessura, se isso vai alterar o fluxo de água, volume por segundo, ou se isso vai mexer só na velocidade, porque de repente você diminui a abertura, mas a velocidade aumenta e o fluxo mantém constante, porque a pressão ali é a mesma, né, se isso acontecer, essa analogia com resistência elétrica, ela não fica boa. Agora, se realmente mexer na espessura, alterar o fluxo, volume por segundo de água, aí fica uma boa analogia para resistência elétrica, né. E aqui, essa lâmpada, né, que você comentou agora, que não tem muita como ela acender aqui nesse modelo, né, o que eu ia te sugerir é trocar essa lâmpada por um ventiladorzinho, sei lá, um sistema de pás. Por quê? Porque aí você pega a energia cinética desse fluxo de água, golpeando a pá, bota um ventilador para funcionar, quer dizer, aí você tem essa transformação de energia que é o principal do circuito, né, energia potencial elétrica, no caso aqui gravitacional, virando cinética, que vai virar alguma coisa. Aí se você botar um golpe dessa água, botar uma par para girar, por exemplo, que seja um ventiladorzinho, você já consegue pegar essa parte de transformação de energia em algo útil, né. Na lâmpada teria que pegar, porque normalmente nessas analogias você usa o atrito, né, para gerar o calor, que é o análogo do efeito Jalo na lâmpada, né. Agora o atrito aqui com a água seria um pouco... não ficaria tão legal, né. Talvez seja uma ideia aí, pensar no ventiladorzinho. Mas achei interessante principalmente para discutir diferença de potencial, o que acontece em uma pilha, por exemplo, e essa parte da continuidade da corrente, né. É o que eu vi de mais potencialidade aí no seu modelo, né.

PESQUISADOR: Professor, quais seriam na sua percepção... acho que você já respondeu, mas eu falo a pergunta, se você achar que só passa para a próxima, você só me aponta, por favor. Mas quais

seriam as vantagens e as desvantagens na sua percepção de se usar esse modelo apresentado como um recurso de mediação didática em sala de aula?

PROFESSOR 2: É, eu acho que a vantagem é facilitar a aprendizagem, uma vez que você vai usar uma analogia mecânica, né, que costuma ser mais palpável. Tem o ganho também de reforçar a Física básica lá da mecânica, que é sempre bom, né. Revisitar a Física anterior também, mesmo não estando no programa da série, é sempre interessante. Para o aluno, né, essas são as vantagens. A desvantagem é que, nem tanto aqui no Cefet, né, mas no Estado aí, que você só tem uma aula de Física, né, é que gasta tempo, né. Então, vai gastar um pouco mais de tempo e é um tempo que está muito apertado hoje no programa do Estado, né. Mas aí tem que ver, né. De repente, vale a pena, né. Também não dá para fazer analogia com tudo, né. Mas se eu escolher as mais interessantes aí, essa pode ser uma opção.

PESQUISADOR: Na pesquisa que a gente fez, né, das analogias, a gente analisou os livros didáticos do PNLD. E aí a gente viu uma diferença enorme na apresentação de conteúdo do PNLD 2018, onde tinha os componentes curriculares separadamente, né, nos livros didáticos e do 2021, que já era por área. E aí a gente achou só de analogia de circuito hidráulico e elétrico. Não, desculpa, só de analogias trabalhando o circuito elétrico. Parte inicial de eletrodinâmica a gente achou volta de 22 analogias nos livros do PNLD 2018. Já no PNLD 2021, já do novo Enem, já do novo ensino médio, a gente achou apenas uma analogia. Você acha que isso tem a ver com a reforma?

PROFESSOR 2: Tem a ver com o sucateamento desse novo ensino médio, né, porque tudo tem que ser muito... Enxugou demais, né, a carga horária. Então tudo ficou muito superficial. Além da bagunça que ficou, cada coleção vai ter o seu jeito de ordenar as coisas ali. E aí, como diminuiu bastante a carga horária, pelo menos do básico, tirando aquela área de aprofundamento, ficou extremamente superficial. Então, quer dizer, aquilo ali não está ensinando nada, na verdade, tá só jogando para o aluno escutar falar daquilo ali uma vez na vida. Então realmente não vai caber discussões mais profundas, de detalhes, você gastar uma sessão ali explorando bem uma analogia no novo ensino médio, isso definitivamente parece que não é o objetivo deles.

PESQUISADOR: Voltando para o modelo, professor, você utilizaria esse recurso, esse modelo, se a gente tiver ele físico, né, projetivado, você utilizaria em sala de aula?

PROFESSOR 2: Eu até acho que ele físico seria bem interessante, até mais interessante do que virtual. Acho que seria, tendo um protótipo desse, sei lá, na escola, no laboratório, você está levando a sala de aula, com certeza eu teria interesse de levar

PESQUISADOR: Você já conhecia algum modelo analógico, similar, modelo que trabalha com analogia e que você tem esses elementos agrupados em um modelo, você já conhecia um modelo similar?

PROFESSOR 2: Não.

PESQUISADOR: Se fosse utilizar, acho que também você já respondeu, mas se você fosse utilizar esse modelo em sala de aula, você faria alguma ressalva ou ajuste com seus alunos?

PROFESSOR 2: A ressalva que eu faria é o que eu já comentei ali atrás, a questão da resistência ali tem que averiguar se realmente essa analogia cabe ou não, a questão do fluxo, e essa coisa da lâmpada, talvez trocar por algo que vai gerar ali, e são os ajustes que eu considero importantes.

PESQUISADOR: Na sua opinião, esse tipo de recurso estimula o interesse do aluno em sala de aula?

PROFESSOR 2: Acredito que sim, porque quando o aluno entende, ele motiva bem mais do que quando ele está no abstrato, se ele não está entendendo nada, é uma desmotivação muito grande, então se ele conseguir visualizar melhor os conceitos, acredito que vai motivá-lo sim.

PESQUISADOR: Finalizando já, para extrapolar um pouco, saindo somente desse modelo apresentado, mas na sua percepção, o processo de ensino e aprendizagem, como você percebe o processo de ensino e aprendizagem mediado ou fundamentado em modelagem, nesse tipo de recurso? Você tem um modelo para explicar, como é a sua percepção sobre isso?

PROFESSOR 2: Você fala de fazer uma analogia ou de ter um protótipo?

PESQUISADOR: De ter um protótipo, de ter um modelo, não precisa ser analogia.

PROFESSOR 2: Eu também não tenho nada sistemático sobre isso, mas eu tenho experiência. Faz muita diferença, quando você leva alguma coisa para a sala de aula, de um experimento, de uma demonstração, de um protótipo, a interação com os alunos é muito diferente de uma aula teórica tradicional. Então, eu tenho essa experiência intuitiva de professor. Sempre que a gente leva algo diferente nesse sentido, a receptividade dos alunos e a interação deles é muito maior do que uma aula no quadro.

PESQUISADOR: Vamos para a primeira parte da entrevista, que a gente vai conversar sobre o entendimento que o professor tem a respeito dos conceitos de analogia e importância em práticas educativas. Professor, como você define o termo analogia?

PROFESSOR 3: Analogia é uma comparação entre dois elementos, uma base e o alvo. Sendo a base o conhecido, o alvo a se conhecer.

PESQUISADOR: Você acha que o uso de analogias pode facilitar a compreensão estudantil dos conceitos da Física?

PROFESSOR 3: Se for feito de forma correta, pode ser. Não só em Física, todo o conhecimento, pode ser trabalhado com analogia de forma correta.

PESQUISADOR: Em sua experiência profissional, você já recorreu a alguma analogia para ensinar algum conteúdo? Por que você fez? Se você já recorreu, e quais analogias você utilizou?

PROFESSOR 3: Eu uso muitas, todas as comparações para o problema de fazer segurança. Uma delas é o circuito elétrico, o movimento das cargas, com o circuito hidráulico. Lógico que aí você tem que mostrar as diferenças. Tem muitas analogias, na termodinâmica, na mecânica, na ótica. Todo o lado de conhecimento da Física tem muita analogia. Repito, não só a Física. Todo o conhecimento é

plausível de ser usado e construído com analogias.

PESQUISADOR: O uso de alguma dessas analogias que você citou, ele foi planejado? Ou seja, antes da aula, você já tinha intenção de fazer o uso dessas analogias? Ou ele foi espontâneo? Isto é, surgiu em uma tentativa de esclarecer algum tópico ou tirar alguma dúvida ou dificuldade aparente dos alunos?

PROFESSOR 3: Não, gasto um tempo, há esse planejo para fazer trabalho.

PESQUISADOR: Na sua opinião, ensinar os conceitos básicos de circuitos elétricos oferece algum desafio particular em relação a outros conteúdos da Física?

PROFESSOR 3: A Física, basicamente, 90% mais ou menos, tudo é abstrato. Se é abstrato, há uma dificuldade para que as pessoas que têm dificuldade na percepção do abstrato fiquem complexos. Então, a analogia é fundamental você tentar mostrar algo real e concreto, para explicar o abstrato.

PESQUISADOR: Professor, falando um pouco da pesquisa que foi feita nesse trabalho, pela revisão de literatura que foi feita, a eletrodinâmica é o conteúdo curricular de Física com mais estudos sobre o uso de analogias. Na sua opinião, qual é o motivo desse resultado?

PROFESSOR 3: Porque, normalmente, na eletrodinâmica, você tem muita abstração. É muita. Então, fica mais difícil o sujeito perceber. E, além disso, é coisa mais difícil que você pedir a alguém, principalmente onde não tem laboratório, para fazer alguns experimentos por causa do risco.

PESQUISADOR: Especificamente, você já citou uma, mas especificamente para o ensino de eletrodinâmica, você já utilizou ou conhece alguma analogia para o ensino de eletrodinâmica?

PROFESSOR 3: Várias. Quando você usa uma bateria, por exemplo, no circuito, você tem que mostrar que há uma diferença de potencial. Aí você pode fazer a analogia com a diferença de potencial gravitacional.

PESQUISADOR: Você considera que essa analogia que você citou agora é um importante recurso didático para ser utilizado em sala de aula? Você usa ou utilizaria essa analogia citada em suas aulas?

PROFESSOR 3: Uso. Sempre que eu trabalho com esse conteúdo, eu uso, porque é para mostrar que a energia, no caso, vai correr do maior potencial para o menor. O movimento das cargas elétricas. Por isso, a gente começou a trabalhar com as cargas positivas, para ficar uma coisa próxima do real. Se a gente cita, como exemplo, a queda da água na cachoeira ou no rio, é o movimento de cima para baixo.

PESQUISADOR: Você consegue apontar alguma limitação ou inadequação para o uso dessa analogia citada por você em sala de aula?

PROFESSOR 3: Sim. Toda analogia tem limitação. Quando você faz as comparações, tem algumas situações que você tem que chamar atenção para que o estudante não seja surpreendido, capte a mensagem errada. Por exemplo, eu quero dizer algo e ele compreende diferente, ele entende a parte que eu não queria que ele entendesse. Então, isso é importante ser destacado nessa analogia, nessa comparação. Nós estamos falando dessa parte, essa outra parte aqui não compete ao estudo aqui. Por exemplo, o circuito hidráulico. Quando você abre um circuito elétrico, para de mover a carga.

Quando você abre uma torneira, um furo, um tubo, uma broca, por exemplo, uma parede, a água continua fluindo. Então, essa é uma diferença básica. São coisas que tem que ser analisadas.

PESQUISADOR: Então, na sua opinião, o entendimento do domínio base, ele pode ser um problema para o uso da analogia?

PROFESSOR 3: Ele não é um problema. Ele é fundamental que a pessoa compreenda o que é o básico, que você quer a base que você quer, de onde você está partindo, que ela tem que primeiro ser completamente compreendida. Depois você fazer o transporte com o alvo. Se eu não destacar o sujeito não conhecer a base, não há como explicar o desconhecido.

PESQUISADOR: Quais os conceitos da eletrodinâmica você abordaria caso fosse utilizar ou na utilização dessa analogia entre circuito hidráulico e circuito elétrico? Em sala de aula, quais os conceitos você trabalharia?

PROFESSOR 3: O fluxo, que no caso da corrente elétrica e o fluxo da água, que a relação é carga-tempo, e na água, o fluxo da água é volume por tempo, que a gente chama de vazão. Então, aí tem uma semelhança na medida da quantidade transversal. Essa seria uma situação básica, fundamental para saber o que passa pela situação transversal. Até para se definir corrente elétrica, o conceito amper é um exemplo que eu uso muito na analogia. Se eu abrir uma torneira com um balde de 20 litros, por exemplo, vazio, quando eu abro a torneira e disparo o cronômetro, eu observo que esse balde de 20 litros leva 10 segundos para ser completamente cheio. Então, ao dividir qual foi o fluxo ou a vazão de água pela seção reta da torneira, seria 20, dividido por 10, 20 litros, dividido por 10 segundos, que daria 2 litros por segundo. Aí a gente faz a analogia para apresentar a corrente elétrica.

PESQUISADOR: Professor, sobre essa parte, essa discussão inicial nossa sobre analogias, sobre analogias para o ensino de eletrodinâmica, há algum outro comentário que você gostaria de fazer?

PROFESSOR 3: Basicamente, eu já o fiz para trás, que é destacar quando se faz a transferência da base no alvo, destacar sempre aquilo que difere, que não é a mesma coisa que vai acontecer no alvo que vem da base. O caso do fluxo de carga elétrica, quando você abre o circuito, você interrompe o circuito e cessa. Enquanto no fluxo da água, não. No hidráulico você não tem nada a ver. Quando houver água na caixa, devido ao diferente potencial, vai fluir. Então aí você tem que destacar esses detalhes. Dentre outros, tem vários.

PESQUISADOR: Professor, então, vamos dar início à segunda parte da entrevista. Todos os comentários que você tiver para fazer. Se não tiverem contemplados aqui nas perguntas, sinta-se à vontade para fazer os comentários. Então vamos lá. Agora, após a apresentação do protótipo digital virtual, do modelo analógico construído, queria saber, professor, como o modelo analógico apresentado poderia ser empregado no ensino de eletrodinâmica?

PROFESSOR 3: Ele se apresenta como semelhança a um circuito elétrico. Mas você deveria proporcionar, principalmente, mostrar as diferenças para eliminar ruídos na comunicação da sua informação para o receptor, que é o estudante. Criar situações, por exemplo, enfatizar o que é a semelhança que você quer e enfatizar aquelas que você não faz parte do estudo. E também criar dois sistemas. Aí você está com dois em paralelo. Deveria ser uma saída, ou um e outra. E depois ele

passar por outro elemento. Chamar a atenção para esse problema de que, no caso do fluxo de água, hidráulica, ele realmente vai dividir para um lado do outro, de acordo com a resistência de cada um. Menos resistência, mais água. Mais resistência, menos água. Se você fecha um, o fluxo de água passa por completo para o outro. Sem problema. Corrente elétrica não é assim. Apesar de os textos, os livros didáticos e outros textos didáticos, dizerem que, enquanto tem elementos em paralelo, a corrente divide para um e para o outro, o que não é verdade. Isso é mentira. É errado isso. Na verdade, cada elemento puxa o que precisa. E a corrente que chega no ponto que vai, teoricamente, aqueles dias que divide, é que soma. Até ali vem a soma das duas. Se um parar de funcionar, aquela corrente que vinha até ali, aquela diminuição, é só que aquele que está funcionando vai ter que vir. Então há uma diminuição. De que? Da quantidade que passa pelo outro. Seria interessante também com a representação onde estivesse esse elemento de unificação, que você traz aqui embaixo, antes do paralelo. Um antes e outro depois. Para você medir antes e depois o que acontece.

PESQUISADOR: Você já começou, então, a apontar, mas eu queria que você falasse, então, quais teriam as vantagens e desvantagens na percepção do senhor de usar esse modelo apresentado como recurso de mediação didática em sala de aula?

PROFESSOR 3: A vantagem que eu vejo é que é uma coisa concreta e fácil de ser demonstrada em sala de aula. Você pode, inclusive, pôr para funcionar isso com água, funcionar montando o elemento. E pelo que eu vejo ali, é transparente as mangueiras que você está usando. Se você usa um líquido colorido, facilita mais ainda para o sujeito ver o fluxo. Essa é uma vantagem. Por que é uma vantagem? Porque a energia elétrica, é todo tipo de energia, ela é abstrata. Apesar de ser uma coisa real, é abstrata.

PESQUISADOR: O senhor estava falando sobre as vantagens. Eu perguntei vantagens e desvantagens em sala de aula.

PROFESSOR 3: A desvantagem que poderia ser é o sujeito não compreender. Por exemplo, quando a gente fala que o movimento da água é de cima ou de baixo, ou de uma alta ou de uma menor, é importante a gente chamar atenção que essa bomba que está dentro do sistema, por relacionar e comparar com a eletroquímica, certo a diferença de potencial e os elementos químicos que oferecem a bateria. Então isso tem que ser destacado. Em paralelo, mostrando tudo. Então seria o ideal, seria ter um outro paralelo, fazer as comparações que são reais, e aquelas que não, acontecem em um e não acontecem no outro. Desvantagem eu não vejo, sim, por isso que eu digo. Pelo contrário, eu vejo só vantagem você tentar mostrar de forma concreta uma coisa que é muito abstrata.

PESQUISADOR: Professor, você utilizaria esse recurso, esse modelo analógico lógico que ele materializado, ele na sua versão física, você utilizaria ele em sala de aula para ensinar os conceitos básicos de eletrodinâmica?

PROFESSOR 3: Com certeza o usaria em sala de aula, mas eu faria alguns acréscimos aí. Preciso de fazer mais acréscimos aí para detalhar. Quanto mais detalhados for as semelhanças, melhor.

PESQUISADOR: Algum acréscimo além do que você já apontou sobre as saídas, uma saída única e um elemento logo depois da saída do reservatório elevado algum outro acréscimo?

PROFESSOR 3: Do que você mostrou aqui eu faria um estudo da bateria, essa parte que você estuda, a bateria a parte eletroquímica diferente de potencial, às vezes até trabalhando junto com o

professor de química para fazer o estudo eletroquímico da bateria. Às vezes fazer a bateria até do limão e as vezes são todos simples, você tem que ter aula. Sabe de aula, é o que eu penso.

PESQUISADOR: Professor, ainda sobre esse modelo, quais os conceitos da eletrodinâmica na sua percepção, poderiam ser trabalhados, poderiam ser explorados por meio desse modelo?

PROFESSOR 3: Dentro da eletrodinâmica, o movimento de cargas, quase todos, eu não vejo nenhum que escaparia dessa situação. Aí, novamente enfatizado, é fundamental mostrar as diferenças, que você tem um circuito e não acontece no outro, ou seja, no base, que é isso que você está mostrando, por isso que eu disse, se tivesse um elétrico semelhante, você iria mostrando o elétrico semelhante a esse, mostrando que é comum em um e no outro e que não é comum.

PESQUISADOR: Além das limitações que o senhor já apontou, gostaria de apontar mais alguma limitação desse modelo?

PROFESSOR 3: Assim, em princípio, não. É só fazer esses acréscimos que eu penso, eu faria se fosse trabalhar com ele, seria isso, um líquido colorido, ou até mesmo aí já é utopia, né? O líquido sair água comum, corpo normal, e eu passar por cada elemento, ele sairia de uma outra cor, e juntasse lá embaixo, aí dá para você ver a quantidade que passa um e passa no outro. E até um quantizador de quanto passou um e passou no outro, se você tivesse condições de aumentar a resistência interna dele, ou seja, a resistência dentro desses caminhos, aí você reduz o fluxo de um, fluxo de outro.

PESQUISADOR: O senhor já conhecia algum modelo analógico, né? Como esse apresentado, você já conhecia algum modelo similar?

PROFESSOR 3: Similar a este, especificamente, não. Não, dessa forma não vi, pode até existir, mas eu não vi, até hoje, em nenhum texto didático visto.

PESQUISADOR: Se você fosse utilizar esse modelo em sala de aula, então, se a pergunta já foi respondida, mas eu vou fazer, se você quiser só que eu passe para a próxima, você me informe, mas se você fosse utilizar esse modelo em sala de aula, você faria alguma ressalva ou ajuste com seus estudantes?

PROFESSOR 3: Faria as adaptações que eu te disse, e destaque, enfatizando principalmente o que é semelhante e o que não é em cada um deles.

PESQUISADOR: Na sua opinião, esse tipo de recurso estimula o interesse do aluno, do estudante em sala de aula?

PROFESSOR 3: Vou te falar, só apresentar, talvez nem tanto, porque aí seria uma demonstração, mas se fosse pedido para cada um criar equipes ou grupos para construir, cada um construir o seu, aí sim, porque o pessoal gosta muito de o amor à massa, o fazer. Eu acho que, e eu se fosse trabalhar com isso, eu pedia a cada grupo montar um e apresentar para a turma.

PESQUISADOR: Então você acha que esse recurso poderia ter articulação com o que hoje a gente chama de cultura maker?

PROFESSOR 3: Aprender fazendo? É, chama de cultura maker, isso é... São palavras consagradas, mas isso já existe há muito tempo, aprender a fazer, lá de Jhon Dewey, já trazem isso há muito tempo,

a escola nova, não há outra forma de você não aprender, a não ser fazendo. Qualquer que seja, até cálculo abstrato, você tem que fazer, não tem jeito. Você não aprende só vendo. Uma diferença muito grande tem na nossa cultura, para a cultura americana, por exemplo, os americanos têm a garagem. Que é aquele pai, os filhos mexem fazendo as coisas, aqui não. Aqui você vai para a escola aprender uma coisa que você às vezes se traz para a escola um conceito errado de algo, trocar uma bucha de torneiro, muita gente não sabe, então... É complicado. Essa cultura faz muita diferença, inclusive, para a criatividade, construção de novas tecnologias, novos aparelhos, novos elementos.

PESQUISADOR: Professor, já encaminhando para o final da entrevista, a gente vai ampliar um pouco, extrapolar um pouco os conceitos aqui que a gente viu do modelo prototipado, mas pensando de uma maneira mais geral. Como você percebe o processo de ensino e aprendizagem mediado ou fundamentado na modelagem?

PROFESSOR 3: Todo o ensino, principalmente aquele conhecimento que é abstrato, ele tem que ser feito em modelagem, não tem jeito. E se você conseguir fazer os modelos tanto matemáticos quanto concretos, ajuda muito. Porque só modelagem matemática fica na abstração. Quando você o transforma em algo concreto, eu não vou dizer que fica mais fácil. Porque mais fácil já é uma coisa que é fácil. Eu vou dizer que fica menos difícil. Uma coisa que é difícil de abstrair, se você proporciona algum conhecimento, algum incremento possibilita do sujeito compreender algo, aí sim fica menos difícil.

PESQUISADOR: Então, para você, professor, numa perspectiva de educação tecnológica por meio, em Física, quais seriam as vantagens e desvantagens de se empregar modelos, ensino baseado em modelagem e também modelos analógicos como recurso de mediação didática na educação em ciência e tecnologia?

PROFESSOR 3: Você usou um termo educação tecnológica. Aí depende de o que você chama educação tecnológica. Qual o conceito que você tem disso? Você pode ver que houve uma mudança nesse conceito do próprio MEC, anteriormente, tecnológico era só graduação e pós-graduação. Com a nova legislação, já chamam que o ensino médio, técnico, já é tecnológico. Porque você associar teoria e prática, a associação volta àquela ideia da garagem, pegar a fazenda, você tem que fazer, vai errar, tudo bem. Então, é fundamental, o sujeito, discutir a teoria e ir para a prática com reflexão. Um ou outro só não adianta. Você precisa refletir sobre aquilo que se faz e os resultados que se tem.

PESQUISADOR: Professor, agradeço a sua participação e, para além do que você já, da sua rica contribuição, das suas percepções, algo mais você gostaria de acrescentar a respeito do modelo ou a respeito de qualquer outra ação discutida aqui nessa entrevista?

PROFESSOR 3: Para mim está tranquilo. É que tudo é um princípio. Pode sempre ser melhorado. Acho que, ao invés de levar pronto, deve-se dar um roteiro para o sujeito construir. Ao invés de se entregar pronto, construir. Ele tem que fazer.

PESQUISADOR: Professor, nessa parte inicial vou querer fazer um levantamento sobre o seu entendimento dos conceitos de analogia e algumas coisas sobre o papel das analogias no ensino de eletrodinâmica. A primeira pergunta é, nas suas palavras, em termos simples, como você define o termo analogia?

PROFESSOR 4: Eu defino a analogia como uma situação que é similar à situação que você quer apresentar os conceitos de circuito elétrico. Então você vai fazer uma comparação com alguma coisa que seja mais próxima do entendimento do estudante para ele atingir aquele nível de abstração de uma coisa que ele não consegue ver e tudo mais.

PESQUISADOR: Você acha que o uso de analogias pode facilitar a compreensão estudantil dos conceitos da Física?

PROFESSOR 4: Eu acho que sim, mas a analogia precisa ser muito bem escolhida. Não pode ser qualquer analogia, porque ela tem que fazer sentido do ponto de vista mais concreto para o estudante. Não adianta pegar uma analogia como uma coisa que para o estudante também é uma abstração.

PESQUISADOR: Em sua experiência profissional, você já recorreu a alguma analogia para ensinar algum conteúdo da Física? Por que você recorreu ao uso de analogia e quais conteúdos você trabalha?

PROFESSOR 4: Tem vários conteúdos. Na parte mesmo de circuitos elétricos, quando eu quero discutir associação em paralelo e analisar onde vai passar mais corrente, se é num resistor de maior resistência ou de menor resistência, eu costumo fazer uma analogia com eles, fazendo a comparação com fila única. Você tem fila única para entrar num cinema ou numa casa de espetáculo e várias entradas. Se em uma entrada a segurança te exige a identidade, se ele coloca muita resistência, vai passar menos pessoas por aquela fila. E se o outro não exige nada, vai passar muito mais pessoas pela outra fila. Então, essa é a analogia para poder falar da resistência à corrente elétrica em um circuito, por exemplo, em paralelo. Tem várias outras situações, não só na eletrodinâmica, às vezes na parte mecânica a gente faz muitas analogias. No momento que é agora, eu não vou lembrar todas, porque isso é muito de... Claro, na hora que você faz o planejamento da aula, você já vai pensando nisso, mas isso é uma coisa que depois que você se afasta um pouquinho, você acaba tendo que consultar o seu planejamento para lembrar que tipo de analogia você vai fazer e tudo mais.

PESQUISADOR: Você já até começou a responder a próxima pergunta. Eu vou sempre fazer todas as perguntas daqui, do roteiro, o uso dessa analogia que você descreveu, ou das analogias que você usa, geralmente é planejado? Ou seja, se antes da aula você já tinha alguma intenção de fazer o uso da analogia, ou se geralmente é mais espontâneo? Ou seja, surge ali na tentativa de esclarecer algum tópico ou tirar alguma dúvida ou dificuldade dos estudantes?

PROFESSOR 4: As duas coisas. Tem a planejada e tem aquela que você já explicou e aí o estudante ainda está com alguma dúvida, você tenta construir ali naquele momento uma analogia que faça sentido para aquele estudante. Então é comum também ter que fazer assim, aparecer uma analogia de improviso.

PESQUISADOR: Na sua opinião, ensinar conceitos básicos da eletrodinâmica, dos circuitos elétricos,

oferece algum desafio particular em relação a outros conteúdos da Física?

PROFESSOR 4: Eu acho que todos os conteúdos da Física tem desafios. Especificamente na parte de eletrodinâmica, nessa parte da eletricidade, um conceito que é muito difícil de fazer a transposição didática, que eu acho é o conceito de diferença de potencial, de potencial elétrico. Isso é uma coisa difícil de fazer a transposição didática. Então esse é um desafio realmente. Fazer uma transposição didática desse conteúdo para o menino entender, pelo menos ali, o que ele faz com aqueles volts. Então eu acho que é desafiador realmente o conceito de potencial.

PESQUISADOR: E aí falando um pouquinho do desenvolvimento da pesquisa, a gente fez uma revisão de literatura. E aí nessa revisão apareceu que a eletrodinâmica é o conteúdo curricular de Física com mais estudos sobre o uso de analogia. Na sua opinião, qual o motivo desse resultado?

PROFESSOR 4: Eu acho que é porque você lida com uma coisa que é extremamente abstrata. Você fala em corrente elétrica, você fala em movimento de carga elétrica e é algo que você não vê. O circuito está lá funcionando, você vê os efeitos daquilo, mas você não vê ali a corrente passando, você não vê o elétron perdendo energia, você não vê nada disso. Então como você lida com muito conceito que é extremamente abstrato, talvez por isso a procura por analogias com coisas mais palpáveis. Mas eu acho também que quando você mexe com termodinâmica você lida com esse mundo atômico molecular que vai falar da pressão do gás, vai falar dessa coisa toda. Você está lidando com algo que você vê o efeito daquela pressão, mas você não está vendo a pressão de fato ali. As moléculas trombando ali nas paredes do recipiente. Então você acaba tendo que também recorrer muitas vezes a algumas analogias nessa parte. Mas no caso da eletrodinâmica eu acho que é por conta disso, você lida sempre com coisas muito abstratas.

PESQUISADOR: Além da analogia que você já citou, da fila dos seguranças, na entrada de algum estabelecimento, tem alguma outra analogia que você já utilizou, que você se lembra agora para o ensino de eletrodinâmica?

PROFESSOR 4: Eu acho que quando eu falo de segunda lei de Ohm, o Ruelli sobre A, eu faço com eles uma analogia, por exemplo, para mostrar qual é a relação de área com a resistência. Por que aumentar a área diminui resistência? Porque eles podem pensar assim no primeiro momento, mas você está aumentando a área, você está aumentando também a quantidade de átomo. Mas aí você está aumentando também muito mais os espaços vazios do que os espaços preenchidos. Então assim, eu costumo fazer analogia com eles, usando a própria porta. Eu falo assim, na hora que tocar o sinal, vocês vão sair para casa passando por essa porta. Então vai ter um fluxo de pessoas por essa porta. Se eu pego e reduzo a área dessa porta pela metade, eu estou aumentando a resistência à passagem das pessoas, ou estou diminuindo a resistência à passagem das pessoas. E se eu dobro a área dessa porta? Então aí é uma analogia que eu uso para poder falar desse efeito da área na resistência do condutor. Então é uma que eu estou lembrando aqui agora, no momento. Mas tem várias outras. A própria do circuito hidráulico, vez por outra a gente utiliza, né? Que é uma analogia já bem...

PESQUISADOR: Então você acha que essas analogias são importantes?

PROFESSOR 4: Eu acho. Sim, como recurso didático, sim. Eu acho que é aquela história, né? Você explica, o menino tem dúvida, você tem que partir de uma explicação diferente para falar da mesma

coisa, mas para chegar no mesmo objetivo, que é fazer ele compreender aquela ideia, né? E eu acho que a analogia tem esse papel.

PESQUISADOR: Dessas analogias que o senhor citou, você pode detalhar um pouquinho quais os conceitos da eletrodinâmica que você aborda ou abordaria no uso dessas analogias?

PROFESSOR 4: Naquela que eu falei anteriormente da fila, eu abordo o conceito de intensidade da corrente em um circuito em paralelo em função do resistor. Da resistência elétrica do resistor. Então passa mais corrente onde tem menos resistência. E por que passa mais corrente onde tem menos resistência? Aí usa essa analogia da fila, né? Fluxo de pessoas, então a questão da porta lá, igual falei, é para poder discutir a relação entre resistência e área do condutor, área da seção reta do condutor. Bom, aí tem outros também, né? Tem várias outras que eu utilizo, mas dessas que eu citei...

PESQUISADOR: Você consegue apontar alguma limitação ou inadequação dessas analogias para a sala de aula? Inadequação? Ou limitação?

PROFESSOR 4: A limitação existe porque, na verdade, você está transformando uma situação em uma coisa análoga, que não é a situação de fato. Então o estudante pode acabar construindo um conceito errado se você não tomar um cuidado de pegar e fazer a ponte entre aquela analogia e a situação que você está querendo explicar. Então eu acho que esse é um problema da analogia. Você tem que cercar para ver se o estudante realmente entendeu aquilo a partir da analogia que você queria explicar do ponto de vista conceitual. Então é um pouco isso. Quando ela é planejada, eu acho que você consegue contornar melhor as limitações. Quando ela é improvisada, você pode incorrer numa imprecisão conceitual por conta da analogia.

PESQUISADOR: Iniciando a segunda parte da entrevista, eu acabei de apresentar o modelo prototipado virtualmente, o protótipo digital ao professor. E vamos colher as percepções do professor a respeito do modelo. Professor, como o modelo analógico, esse modelo apresentado, na sua opinião como ele poderia ser empregado no ensino de eletrodinâmica?

PROFESSOR 4: Ele poderia ser empregado na parte que eu penso, na introdução à eletrodinâmica para explicar a questão de como você tem um fluxo de cargas. E no caso você começa a fazer as condições para você ter um fluxo de água e aí você vai fazendo a analogia entre o fluxo de água e o movimento de cargas elétricas. A diferença de potencial gravitacional e a diferença de potencial elétrico. Eu acho que basicamente é essa a ideia. Antes mesmo de pensar em uma associação, em paralelo e tudo, só mesmo uma situação bem trivial da lâmpada, da fonte e do interruptor, por exemplo. Uma lâmpada, na verdade, assim, um caminho só.

PESQUISADOR: Quais seriam as vantagens e desvantagens, na sua percepção, de se usar esse modelo apresentado como um recurso de mediação didática em sala de aula?

PROFESSOR 4: A vantagem é que eu acho que a questão hidráulica é mais palpável. O menino realmente consegue enxergar um fluxo de água ali, aquela coisa toda. Quando você interrompe o fluxo, quando você dificulta o fluxo, isso aí fica bem visível. Então isso é uma vantagem. A desvantagem é que você tem alguns detalhes aqui, por exemplo, que depois, igual a bateria que vai ter uma resistência interna, não dá para você mostrar isso nessa analogia do circuito hidráulico.

Aquela ideia que você falou de manter sempre a diferença de potencial constante. Pode ser que você não consiga esse ajuste para manter essa diferença de potencial constante. Ela pode, de repente, encher mais do que devia ou encher menos do que devia. Então são limitações que fazem parte da analogia mesmo. Toda vez que você vai usar a analogia, você vai ter algumas limitações.

PESQUISADOR: Se você tivesse esse recurso disponível, ele materializasse, físico, você o utilizaria em sala de aula para esse ensino de conceitos básicos de eletrodinâmica?

PROFESSOR 4: Eu utilizaria. Eu acho que ele teria que ser um pouco robusto, porque se você tiver um modelo que ele for muito pequeno, o menino só vai conseguir ver se ele estiver sentado na bancada. Agora, se você construir uma coisa mais robusta, que ele consegue ver de lá de onde ele está sentado, a água fluindo, aquela coisa toda, é mais interessante. Então depende da proposta. Você pode construir vários, ir para o laboratório para cada grupo manipular o seu modelo, ou você pode construir uma coisa mais robusta que você consegue levar para a sala na forma de uma demonstração. Ele vê o funcionamento. As duas possibilidades são interessantes.

PESQUISADOR: Pensando nesse uso, demandaria um tempo a mais para você trabalhar algo desse tipo. Do jeito que a sua carga horária, o que você tem disponível para o ensino, você acha que você teria tempo para trabalhar com um recurso desse tipo?

PROFESSOR 4: Na verdade é o seguinte. Se você não usa determinados recursos, você acaba também perdendo tempo tendo que discutir de novo, fazendo abstrações, fazendo comparações e tudo. É um tempo que você vai gastar, mas que depois você recupera a partir do momento que você conseguir melhorar a compreensão daquilo. Uma vez compreendido, você já pode partir para a discussão de questões, já trabalhando com circuito elétrico mesmo ao invés do hidráulico, porque aí essas coisas já foram bem discutidas. Os conceitos que eram para ser discutidos no elétrico, você já acabou fazendo essa discussão no circuito hidráulico e aí você consegue fazer essa ponte talvez um pouco mais rápido. Então assim, você gasta um pouco mais de tempo na hora que você está trabalhando com o modelo, mas você ganha depois na compreensão, que aí o menino desembola.

PESQUISADOR: Você já citou alguns dos conceitos que você poderia trabalhar com esse modelo, mas reforçando a pergunta, quais conceitos da eletrodinâmica poderiam ser explorados por meio desse modelo?

PROFESSOR 4: Aqui você pode usar o conceito de diferença de potencial, o conceito de resistência, o conceito de corrente elétrica, a própria função do interruptor no circuito. E aí talvez fosse interessante, ali tem a chavinha, mas você tem um outro modelo que mostra o que é interromper o circuito, no caso o circuito elétrico. O que é esse interromper? Porque ali você fechou uma válvula. E o que é interromper o circuito elétrico? Que é abrir o circuito, porque ali você está fechando uma válvula e no circuito, quando você está interrompendo a corrente, você está abrindo o circuito. Isso é uma coisa que vale a pena destacar, que é uma diferença entre a analogia e o que acontece lá no circuito real, no circuito elétrico. Mas aí você discute resistência, corrente, a própria função do interruptor no circuito, o que mais? Ali no caso, o que é uma associação em paralelo, o que é uma associação em série. Então você tem a questão de pensar como aquela diferença de potencial elétrica é mantida na pilha. Você tem ali a analogia da bomba com as reações químicas que estão

acontecendo ali no interior da pilha. Isso é o que eu consegui enxergar no primeiro momento. Claro, a medida que você vai usando, você vai vendo mais potencialidades.

PESQUISADOR: Professor, nessa resposta anterior, você citou uma limitação que foi mapeada no mapeamento desse modelo, que é exatamente nesse paralelismo de informações. Então quando a gente fala em fechar o circuito hidráulico, a gente fala em interromper o fluxo. E quando a gente fala em abrir o circuito elétrico, a gente fala em interromper a corrente elétrica. Então que se configura em uma limitação, em uma diferença que a gente tem que explicitar. Você consegue listar alguma outra limitação nesse sentido que você já apontou?

PROFESSOR 4: Bom, aqui você consegue simular as lâmpadas com resistências diferentes. E o fluxo, mas o fluxo que vai estar lá na outra também vai estar o fluxo total.

PESQUISADOR: Professor, se você fosse utilizar esse modelo em sala de aula, você faria alguma ressalva? Além dessa que você até já apontou, você faria alguma ressalva ou ajuste com seus alunos, com seus estudantes?

PROFESSOR 4: Aqui eu estou percebendo talvez uma outra limitação que é a seguinte. Você simula ali as resistências só estrangulando a passagem de líquido ali naquele trecho do circuito hidráulico. E do ponto de vista do circuito elétrico, você pode alterar essa resistência mexendo em material, mexendo em comprimento, mexendo em área de seção. Ali basicamente você está mexendo só na área da seção. Na área por onde a água pode escoar. Então essa é uma limitação que eu percebi ali também, mas que é limitação ainda. Não tem jeito. É impossível você fazer uma analogia que corresponda, pelo menos eu penso assim, corresponda 100% à situação que você está tentando explicar conceitualmente.

PESQUISADOR: E na sua opinião, esse tipo de recurso, ele estimula o interesse do estudante em sala de aula?

PROFESSOR 4: Eu, por exemplo, eu sempre levo, principalmente quando você consegue levar algo palpável. Eu sempre procuro levar um experimento. Tem coisa que muitas vezes nem é nada sofisticado, muitas vezes é um fio. Você fica lá fazendo uma abstração, você vai ter um, por exemplo, uma espira condutora. Na hora que você pega e coloca, isso aqui seria uma espira condutora, isso aqui é fluxo magnético. Então o fluxo você pode pensar nas linhas que estão passando aqui. Quando você começa a ter uma coisa mais concreta para ele, eu acho que isso sempre facilita.

PESQUISADOR: Então pensando agora, extrapolando um pouco esse modelo apresentado, a temática também, extrapolando isso, pensando em uma coisa mais geral. Como que você percebe o processo de ensino e aprendizagem mediado ou fundamentado em modelagem? Você ter modelos físicos para apresentar para os estudantes. Como que você percebe o ensino desse tipo?

PROFESSOR 4: Eu percebo que os alunos ficam mais receptivos e mais curiosos para entender aquela situação. Porque quando você chega só lá no quadro e fica só explicando em cima de conceitos e tudo mais. Quando você tem algo material, algo que desafia, um experimento que surpreende a expectativa dele, ele achava que era de um jeito e de repente você tem um resultado inesperado, isso estimula a participação dos estudantes. E aí a partir do momento que eles estão mais engajados, você consegue ir desenvolvendo a teoria e tudo mais. Porque eu acho que a grande

dificuldade hoje é conseguir esse engajamento dos estudantes. Porque tem hora que o celular tira atenção, um monte de coisa está tirando atenção. Então quando você vem com algo material que tem um resultado que é um pouco surpreendente para ele, eu acho que você consegue mobilizar o estudante para ele poder participar mais da aula e tudo mais.

PESQUISADOR: Professor, ao fazer essa pesquisa, a gente fundamentou com analogias que a gente encontrou em livro didático. E uma das fontes foi os livros do PNLD 2018 e 2021. Sendo que o 2018 era antes da reforma, então sim, os componentes eram separados, né Fih? Sim. E o 2021 foi pós-reforma, então a gente avaliou livros que são das ciências da natureza. Sim. E aí um resultado interessante que a gente coletou foi que a gente especificamente em analogias para circuitos elétricos, a gente achou uma quantidade de 21 analogias nos livros de 2018. Já no de 2021, apenas uma analogia foi encontrada. Essa diferença você consegue inferir algum motivo dessa diferença?

PROFESSOR 4: Bom, eu analisei os livros do novo ensino médio e o que a gente percebe é o seguinte, que esses que chegaram aí, que eles servem para aquela formação que eles falam mais geral, antes do menino escolher o itinerário formativo dele, ele é um livro que passa pelos conceitos de forma muito superficial. E a partir do momento que você passa de forma superficial, você não precisa se esforçar, né? Porque eu acho que a analogia começa a ter muita utilidade quando você vai cada vez aprofundando nos conceitos. E aí os conceitos vão se relacionando e tudo mais. Agora, se você passa só assim, você só informa, isso é um circuito elétrico, acabou, vamos para o próximo. Que é o que aconteceu com esses novos livros do novo ensino médio. Achei que eles ficaram muito naquela coisa da revista super interessante, que só comunica, mas não esclarece, não aprofunda. Então por isso. E aí tem um outro detalhe também que é uma questão de mercado gráfico. Quanto mais analogia você vai construir, mais páginas aquele capítulo vai ter, daquele livro vai ter. E aí eles pegam e falam, não, você vai ter que escrever um livro com tantas páginas. E ele tem que nesse livro com tantas páginas falar de um tantão de coisa de Física, de Biologia, de Química. Então fica tudo muito superficial.

PESQUISADOR: A estrutura aqui da entrevista a gente já cumpriu, todas as perguntas feitas. Além do que foi discutido aqui das perguntas feitas, você gostaria de fazer mais algum comentário sobre o modelo, sobre a analogia de uma maneira geral ou sobre outro aspecto?

PROFESSOR 4: Acho interessante a ideia, principalmente se conseguir construir, porque em geral, quando a gente fala em analogias relacionadas com, comparando o circuito elétrico com hidráulico, elas ficam muito também só no pictórico ali, né. É um desenho de um, um desenho do outro e as comparações. E quando você tem o circuito funcionando, se você conseguir realmente, eu acho que é um avanço em termos de analogia. Você tem um circuito ali em funcionamento hidráulico, pra você fazer uma analogia com o circuito elétrico, mas aí você tem algo palpável, né, que o menino vai ver ali o fluxo de ar. Porque no outro você fica só imaginando, e do mesmo jeito que você imagina, você tem que imaginar lá os elétrons lá, né. Então acaba, embora ele seja mais próximo da realidade, ele continua ainda no nível meio de, meio abstrato. E aqui não, aqui você tem uma coisa que, nossa, tomara que você consiga fazer a montagem Física, né.

PESQUISADOR: Professor, a primeira pergunta é uma parte mais geral do seu entendimento mesmo sobre o conceito de analogia e a importância das analogias em suas práticas educativas. A primeira pergunta é, como você define, em suas palavras, em termos simples mesmo, mas como você define o termo analogia?

PROFESSOR 5: Eu definiria analogia como sendo você fazer uso de uma ideia que às vezes não tem uma relação com aquilo que você está querendo ensinar, mas que algum processo daquela ideia que você está utilizando vai ajudar a esclarecer o conteúdo que você quer ensinar.

PESQUISADOR: Você acha que o uso de analogias pode facilitar a compreensão estudantil dos conceitos da Física?

PROFESSOR 5: Sim, sim. Eu acho, na verdade, eu até gosto de usar a analogia até quando eu mesmo vou aprender, até mesmo quando eu estou estudando algo da Física. Então, eu uso analogias para conseguir visualizar alguns conceitos, principalmente em se tratando de conceitos muito mais abstratos. Então, eu acho que pode ser muito útil para o aluno conseguir visualizar.

PESQUISADOR: Em sua experiência profissional, você já recorreu a alguma analogia para ensinar algum conceito? Se sim, por que você recorreu à analogia e qual, se você lembra qual a analogia foi, qual foi essa analogia?

PROFESSOR 5: Olha, então, como eu gosto de usar analogias para mim mesmo, então eu também gosto de usar analogias quando eu vou explicar para os alunos. E já utilizei analogias de todas as formas possíveis, eu imagino. Eu não sei se você vai me perguntar, eu às vezes tenho um pouco de medo de analogia, não sei se é pelo meu uso ou pelo próprio uso da analogia, mas eu já utilizei, por exemplo, quando vou falar sobre calor, fazer analogia até com a questão de fluido. Então, calor é como um fluido que passa de um objeto para o outro, claro, tentando, mostrando também a ideia de que calor é uma energia em trânsito e energia não é fluido. E aí várias outras formas de analogia, até quando você vai falar de elétrons, você vai falar de bolinha, várias analogias desse tipo, mas sempre tendo cuidado de chamar atenção de que aquilo é uma analogia e que muitas vezes não corresponde à realidade.

PESQUISADOR: E aí, então, no uso dessas analogias, de algumas dessas que você me relatou, geralmente é um uso planejado, ou seja, antes da aula você já tinha a intenção de fazer o uso da analogia ou é mais em sala de aula, ou é mais espontâneo, surge ali numa tentativa de esclarecer um tópico ou de tirar alguma dúvida ou dificuldade dos estudantes.

PROFESSOR 5: Olha, eu diria que é as duas formas. Na hora que eu estou preparando a aula, eu já estruturo uma linha de raciocínio e automaticamente eu já penso nas analogias que eu posso fazer. Mas é claro, invariavelmente o aluno faz uma pergunta que às vezes eu não estava esperando para aquele momento, então eu às vezes recorro à analogia espontânea, alguma coisa que pode ajudar a compreender aquilo ali. Ou eu às vezes planejo usar uma analogia e pela pergunta do aluno eu acabo caminhando para outro tipo de analogia.

PESQUISADOR: Na sua opinião, ensinar os conceitos básicos de circuitos elétricos oferece algum desafio particular em relação a outros conteúdos da Física?

PROFESSOR 5: Sim, porque apesar de que você muitas vezes consegue visualizar efeitos, você tem uma questão aí que é um modelo muito... uma coisa muito abstrata, corrente elétrica. Você vai falar

para o aluno, corrente elétrica, o que é aquilo? Então, eu percebo que os alunos têm uma certa dificuldade de compreender esses conceitos, o próprio conceito do que é uma diferença de potencial. Por serem conceitos muito abstratos, invariavelmente você tem que trazer algo do dia a dia, fazer analogia para tentar simplificar aquilo ali, ou explicar melhor aquilo ali.

PESQUISADOR: Pela revisão de literatura que eu fiz, a eletrodinâmica é o conteúdo curricular de Física com mais estudos, nacionalmente e internacionalmente, sobre o uso de analogias. Na sua opinião, qual é o motivo desse resultado? De ser o conteúdo de eletrodinâmica o conteúdo com mais estudos sobre analogias, sobre o uso de analogias?

PROFESSOR 5: Não sei. Eu imagino que primeiro é essa questão, porque querendo ou não, a gente passa os dois anos, primeiro e segundo, tratando de... Se você puder resumir, você pode até falar em leis de Newton, você pode até falar assim, ah não, mas você tem termodinâmica. Mas muitas vezes a termodinâmica, até o próprio fato do estudo dos gases, é quase que uma aplicação das leis de Newton ao movimento dos gases. Então você está tratando ali de coisas que às vezes facilitam, são meio que similares. E quando você vai para a eletrodinâmica, você foge, você já começa a não ter só uma força atrativa, você tem força repulsiva. E aí você começa a recorrer a coisas do tipo campo elétrico, potencial elétrico, que eu já vi pesquisadores, professores, questionando se são algo que existe ou se são só resultados de contas. Então eu acho que isso pode ser uma coisa. E talvez a aproximação por alguns modelos, por exemplo, fluido escoando, trânsito, automóveis nas vias, coisas desse tipo. Aí isso pode talvez facilitar também o uso de analogias, não sei.

PESQUISADOR: Você conhece ou já utilizou alguma analogia para o ensino de circuitos elétricos, de eletrodinâmica?

PROFESSOR 5: Então, eu uso muito analogia de trânsito, até porque esse ano eu dei aula para uma turma de estradas e trânsito, então eu, até para tornar a coisa um pouco mais próxima do que eles trabalham, já utilizei fluidos escoando, até para falar de potencial, então você encheu a caixa d'água, essas coisas assim.

PESQUISADOR: Você considera que essas analogias que você citou aí agora, tanto de trânsito quanto do potencial, caixa d'água, você considera que essas analogias são importantes recursos para ser usado em sala de aula?

PROFESSOR 5: Sim. Porque se você está falando de energia elétrica, você está falando de movimento de carga, aí você já complica ao introduzir o conceito de corrente convencional, e diferente de corrente real. Então, você usar analogias que são mais próximas do dia a dia deles, eu acho que ajuda o aluno a entender aquela ideia, pelo menos a ideia mais geral do que seria o movimento de cargas, como que elas vão se comportar, se você tem duas vias se juntando, ou se você tem uma via se separando em duas.

PESQUISADOR: Dessas analogias que a gente está conversando, de eletrodinâmica, você consegue apontar alguma limitação ou inadequação para o uso dessas analogias em sala de aula?

PROFESSOR 5: Olha, eu já me deparei, tanto quando eu estava tentando pensar, quanto de perguntas de alunos. Até justamente nessa questão, se eu estou querendo fazer analogia com o movimento de água em cano, e aí o aluno vai lá e pergunta assim, mas o cano pode ter uma bolha de

ar? Aí é claro que eu tento falar assim, não, então às vezes uma bolha de ar pode ser um defeito, e aí eu tento reverter isso para a questão da resistência elétrica, ou até no caso de trânsito, movimento de automóveis, mas aí teve um acidente, aí também, você tem uma questão. Eu agora não me lembro exatamente, mas eu lembro de ter tido uma questão, de eu ter usado uma analogia, e o aluno veio com um problema em relação àquela analogia, eu não lembro se era água buscando, e eu falei, mas e tal coisa. E eu não consegui associar, e aí eu falei, não, mas aí a questão da analogia, a diferença da analogia para o que a gente está aplicando, mas agora eu não lembro exatamente o que era, qual foi o questionamento do aluno.

PESQUISADOR: Bem, a gente está finalizando essa primeira parte geral, algo mais que você queira acrescentar, alguma coisa que você pensa sobre as perguntas feitas, sobre a analogia de uma maneira geral, ou podemos encerrar.

PROFESSOR 5: Olha, sobre a analogia de uma maneira geral, eu acho que tem que ter muito cuidado na hora de utilizar a analogia, justamente porque aquele exemplo que você está dando, aquela analogia que você está fazendo, ela pode conter conceitos físicos que não se aplicam ao que você está querendo explicar. Você pode, se o aluno faz a pergunta, você pode ir respondendo na hora e até tentar separar o que é analogia do que é do que está acontecendo, do que você quer explicar. Mas o aluno pode não fazer a pergunta na hora, e ele pode pensar naquele problema, associar àquilo e gerar uma falsa ideia de algo que você não explicou, ou que você não falou. Entendeu? Então eu acho que a analogia tem que ser tomada muito cuidado e deixar muito claro, olha, aqui é só uma analogia, é só uma...

PESQUISADOR: Bem, a gente está finalizando essa primeira parte geral, algo mais que você queira acrescentar, alguma coisa que você pensa sobre as perguntas feitas, sobre a analogia de uma maneira geral, ou podemos encerrar.

PROFESSOR 5: Olha, sobre a analogia de uma maneira geral, eu acho que tem que ter muito cuidado na hora de utilizar a analogia, justamente porque aquele exemplo que você está dando, aquela analogia que você está fazendo, ela pode conter conceitos físicos que não se aplicam ao que você está querendo explicar. Você pode, se o aluno faz a pergunta, você pode ir respondendo na hora e até tentar separar o que é analogia do que é do que está acontecendo, do que você quer explicar. Mas o aluno pode não fazer a pergunta na hora, e ele pode pensar naquele problema, associar àquilo e gerar uma falsa ideia de algo que você não explicou, ou que você não falou. Entendeu? Então eu acho que a analogia tem que ser tomada muito cuidado e deixar muito claro, olha, aqui é só uma analogia, é só uma...

PESQUISADOR: Segunda parte da entrevista, após a apresentação do modelo prototipado digitalmente. Professor, como o modelo analógico apresentado poderia, na sua opinião, ser empregado no ensino de eletrodinâmica, de conceitos básicos da eletrodinâmica?

PROFESSOR 5: Ele faz uma analogia muito interessante para você explicar como que uma pilha funciona, uma bateria, e é claro que tem que aí relacionar aqui a bomba ali é o equivalente às reações químicas que estão gerando o... que estão fornecendo energia elétrica para as cargas. Ele mostra aí essa questão de um circuito, de uma malha em paralelo, malha... malha em série, né? Ele parece mostrar de forma interessante a questão da... até das correntes elétricas, né? Correntes circulando

por dois fios e aí você mostra ali o nó, a questão do nó no circuito elétrico, né? E aí é onde as correntes vão se somar. Você mostra ali a diferença de potencial, né? Que no caso você já faz... pode até fazer alusão, né? Você mostra ali a diferença de potencial, né? A diferença de potencial gravitacional e a diferença de potencial elétrica, né? Essa é talvez a parte mais interessante mostrar o motivo para haver corrente nesse circuito ou água fluindo né? Eu acho que tem esses pontos interessantes.

PESQUISADOR: Na sua opinião, quais seriam as vantagens e desvantagens de usar esse modelo aí como recurso de mediação didática em sala de aula?

PROFESSOR 5: Ó, eu vejo como positivo justamente por mostrar essas questões assim. Até fazer a analogia de como que é o funcionamento interno de uma pilha. O que significa ela fornecer energia elétrica para um circuito? E como que os elétrons vão circulando o circuito, né? E aí vão ganhando energia na pilha e perdendo energia no circuito. O que talvez eu pensei aqui como ponto negativo é talvez qual é o tamanho disso aí, né? A dificuldade talvez de ficar... a portabilidade, né? Ficar levando e... É um trabalho que tem que ser feito com muito cuidado tipo, para não ter vazamentos, não ter... A construção tem que ser uma construção de certa forma robusta. O que eu fiquei pensando é que se esses tubos forem muito fininhos você pode aí inserir um problema que às vezes, se eles forem muito fininhos e se forem de mesmo diâmetro você pode talvez inserir um problema aí que a água, o volume aqui talvez não seja o mesmo lá, né? Ou o escoamento, não sei. Essa questão do escoamento aí pode gerar um pouco de confusão para os alunos deles. Imaginarem que isso pode represar a água na hora que os dois se encontram. E como que isso pode ficar na cabeça deles quando eles estiverem tentando pensar na questão da corrente elétrica. Na verdade, quando você lida com correntes muito altas, isso acontece. A gente não vê no dia a dia, mas quando você tem dois fios se juntando ele é um ponto de resistência alta. Justamente porque você vai ter muitas colisões de elétrons. Então, não sei se isso é algo vantajoso de inserir na cabeça dos meninos nesse momento.

PESQUISADOR: Se você tivesse esse recurso à sua disposição num tamanho ok para se transportar, mas que você pudesse ter esse recurso em sala de aula você o utilizaria para ensino de conceitos básicos de eletrodinâmica?

PROFESSOR 5: Sim, eu já pensei inclusive em uma aula específica que é quando você fala daquela equação do circuito em que você faz a soma das energias a energia que o elétron ganha na bateria e a energia que ele vai perdendo ao longo dos vários pontos do circuito de resistência, de gerador e tudo mais eu pensei nesse momento. Um dos momentos como possível.

PESQUISADOR: Algum outro conceito na sua percepção seria interessante de explorar com esse recurso?

PROFESSOR 5: Não, não consegui pensar não. Eu precisaria usar uma vez para perceber possíveis outras utilizações dele.

PESQUISADOR: Na sua percepção, pela apresentação do modelo prototipado você vê alguma limitação desse recurso para os conceitos que você utilizaria para ensinar?

PROFESSOR 5: Olha, tem esse que eu comentei se os tubos tiverem o mesmo diâmetro pode gerar aí um problema de às vezes introduzir algo que não está no momento, que é essa questão da

resistência quando você tem junção de fios. Eu acho que é isso.

PESQUISADOR: Você já conhecia algum modelo analógico similar não só para ensinar conceitos básicos da eletrodinâmica mas um modelo com essa concepção teórica de agrupamento de elementos de uma analogia usando o domínio base, nesse caso que era o hidráulico para explicar um domínio algo que nesse caso era o elétrico. Você tinha conhecimento de algum modelo similar?

PROFESSOR 5: Eu não sei se eu entendi sua pergunta mas eu tenho um trabalho que é justamente na área para falar sobre radiação de corpo negro utilizando LEDs. Então eu não sei se entra justamente nisso aí do que você está falando porque lá não é um modelo mecânico continua sendo um modelo óptico.

PESQUISADOR: Mas se utiliza de uma analogia?

PROFESSOR 5: Então utiliza porque no fundo tem um simulador que mostra lá a temperatura do corpo negro você pode ajustar a temperatura do corpo negro e você tem um LED RGB que vai brilhar na cor do que seria aquele corpo negro.

PESQUISADOR: Na sua opinião o uso desse recurso, desse modelo poderia estimular o interesse dos estudantes em sala de aula?

PROFESSOR 5: Eu acho que sim. Eu acho que ele tem potencialidade de você explorar quais outros elementos poderiam ser inseridos às vezes você vai trabalhar outros conceitos e aí pode propor como que o modelo poderia ser alterado para corresponder aquilo que está sendo visto no exercício, por exemplo. Então aí é uma coisa que eu estava pensando na hora que eu vi essa bateria eu acho que a parte mais legal que eu vi ali foi a bateria e eu pensei numa questão que pode ser interessante também você pode ver né porque você falou essa bomba que leva a água do negativo para o positivo ela tem vazão constante ou ela pode ser regulada?

PESQUISADOR: Pode ser regulada.

PROFESSOR 5: Porque eu fiquei pensando para explicar para os alunos o que é uma bateria descarregada ou que vai descarregando com o tempo apesar de que assim esse conceito ele é um pouco complicado mas o que eu pensei é de talvez mandar menos água do que o que está saindo e aí você pode tanto falar da questão então os elementos químicos ali os reagentes vão se esgotando então você vai deixando de ter reações químicas e aí você vai parando cada vez mais de ter fluido ou no caso corrente elétrica no circuito essa foi a primeira coisa que eu pensei na hora que eu estava vendo a bateria que é essa analogia da bateria principalmente com duas colunas eu achei muito legal e pensei nisso às vezes colocar uma vazão um pouco menor pode ser interessante justamente para mostrar a bateria descarregando.

PESQUISADOR: Professor, se fosse me entregue uma tarefa a partir desse modelo e falasse assim professor, eu preciso que você melhore esse modelo você teria algumas modificações para fazer nesse modelo?

PROFESSOR 5: Olha, essa coisa de você construir algo para levar para a sala de aula é muito legal mas talvez eu faria um modelo maior para talvez tirar algumas limitações que inicialmente eu vi nesse aí aquela questão do tubo eu pensei também se seria interessante fazer a coisa em módulos

então você criaria os módulos tipo, ou só do fio, que seria a mangueira fio com resistor, que seria o vermelho e que você poderia ir acoplando então você quer fazer três resistores em paralelo então está aqui você quer fazer dois resistores em série então você acopla ali talvez eu pensaria em uma coisa dessa e que fosse fácil você encaixar um no outro aí você modificaria o circuito.

PESQUISADOR: Fazendo algumas perguntas agora um pouco mais geral tentando extrapolar um pouco o que a gente viu aqui no modelo como que você percebe um processo de ensino e aprendizagem mediado ou fundamentado em modelagem? tanto modelo analógico como é o caso aqui ou como modelos de uma maneira geral?

PROFESSOR 5: Ah, então eu acho que usar os modelos até simulações computacionais eu acho que é uma forma muito boa do aluno visualizar o que está acontecendo eu gosto de usar simulações do PHET eu gosto de usar vídeos infelizmente os vídeos que eu costumo encontrar mais interessantes eles são em inglês eu encontro pouca coisa em português porque eles também utilizam às vezes analogias ou animações que são muito interessantes mas o professor tem que estar sempre tomando cuidado justamente para que aquilo ali não dê uma impressão errada pegando um exemplo de que eu mesmo já falei que eu usei de falar do calor enquanto fluido isso pode reforçar a ideia de que calor é algo é uma substância que está fluindo então tem que tomar muito cuidado porque você pode passar uma ideia errada eu até uso esse exemplo essa analogia e falo até dos significados do que é caloria do que é capacidade térmica e tal voltando que a ideia do pessoal era essa mas que calor não é isso então eu acho que o professor tem que usar ele deve usar a gente tem muitos recursos ele tem que extrapolar o quadro mas tem que tomar muito cuidado porque aquilo que ele está mostrando aquela analogia pode às vezes voltar contra ele então ele tem que ter muito conhecimento daquilo que ele está falando se o aluno fizer uma pergunta mais capriciosa ele tem que saber lidar com aquilo porque pode às vezes trazer mais confusão do que auxílio.

PESQUISADOR: Uma outra pergunta também que é mais geral também e tem mais a ver às vezes com legislação educacional é que na nossa pesquisa um resultado interessante que a gente teve para fazer o levantamento das analogias é que nos livros do PNLD 2018 a gente encontrou 21 analogias só desses temas de conceitos básicos da eletrodinâmica enquanto nos livros do PNLD 2021 onde tem os livros por área a gente encontrou apenas uma de maneira até bem superficial a descrição da analogia você consegue inferir alguma coisa sobre esse resultado? do porquê que nos livros de 2018 tinham tão mais analogias nos livros e no 2021 foi quase inexistente?

PROFESSOR 5: Olha, eu não para ser honesto, eu não acompanho muito isso eu participei das escolhas do PNLD eu nem lembro quais os anos acho que 2015, 2018 até 2021 eu participei mas foi muito mais dando uma olhada nas obras e aí muitas vezes eu olhava a quantidade de exercício conteúdos abordados mas nem como os conteúdos eram abordados mas eu não acompanho, por exemplo quais são as regras de um livro do PNLD eu sei que tem algumas coisas com relação a tamanho da fonte número de páginas, etc mas eu não faço ideia mas eu chutaria que essas limitações número de páginas e o fato de você juntar três coisas numa só seja um fator limitante aí o professor acaba tendo que ir mais direto ao ponto e não ficar ele às vezes não vai ter tanto tempo, tanto espaço ali no livro para poder fazer as analogias que antigamente ele conseguiria então eu acho que ele acaba eu percebi nos livros de 2021 que eles eram muito enxutos muito diretos tal coisa, é isso aquela outra coisa, aquilo e pronto, vão para alguns exercícios exemplos e pronto e essa inclusive foi

uma das críticas que me pareceu muito mais que juntou os três conteúdos e não que integrou os três conteúdos apesar de que, assim parecia haver alguma certa consistência na escolha da ordem dos capítulos o que estava explicado de biologia o que estava explicado de química e o que depois vinha de Física, etc mas acabou sendo muito mais eu acho que essa entre aspas, integralização do conhecimento ficou muito mais na ordem que os conceitos eram apresentados e não tanto o que aquele conceito que está sendo tratado de Física tem a ver com o que foi discutido antes em química e o que vai ser discutido depois em biologia, por exemplo eu vejo isso eu acho que talvez essa esse tenha sido o fator mais limitante no número de páginas.

PESQUISADOR: Professor, a gente finalizou a entrevista eu agradeço se você tiver mais alguma consideração para fazer do modelo apresentado da nossa discussão inicial sobre analogia se você quiser fazer mais alguma consideração?

PROFESSOR 5: De cabeça não está me vindo não, tudo certo.