



Universidade Federal de Santa Catarina
Centro de Ciências Físicas e Matemática - Departamento de Física
Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física
Polo 39 - UFSC

Julia Bristot Matos

JÚRI SIMULADO SOBRE A NATUREZA DA LUZ: UMA ESTRATÉGIA PARA
DISCUTIR ASPECTOS DA NATUREZA DA CIÊNCIA

Florianópolis, 2025

Julia Bristot Matos

**JÚRI SIMULADO SOBRE A NATUREZA DA LUZ: UMA ESTRATÉGIA PARA
DISCUTIR ASPECTOS DA NATUREZA DA CIÊNCIA**

Dissertação submetida ao Programa de
Mestrado Nacional Profissional de Ensino
de Física da Universidade Federal de
Santa Catarina como requisito parcial para
a obtenção do título de Mestra em Ensino
de Física.

Orientadora:

Dra. Gabriela Kaiana Ferreira

Florianópolis, 2025

FICHA CATALOGRÁFICA

Matos, Julia Bristot

JÚRI SIMULADO SOBRE A NATUREZA DA LUZ : UMA ESTRATÉGIA
PARA DISCUTIR ASPECTOS DA NATUREZA DA CIÊNCIA / Julia
Bristot Matos ; orientador, Gabriela Kaiana Ferreira,
2025.

263 p.

Dissertação (mestrado profissional) - Universidade Federal
de Santa Catarina, Centro de Ciências Físicas e
Matemáticas, Mestrado Nacional Profissional em Ensino de
Física, Florianópolis, 2025.

Inclui referências.

1. Ensino de Física. 2. Ensino de Física. 3. Natureza
da ciência. 4. Natureza da luz. 5. Júri simulado. I.
Ferreira, Gabriela Kaiana. II. Universidade Federal de
Santa Catarina. Mestrado Nacional Profissional em Ensino
de Física. III. Título.

Júlia Bristot Matos

**JÚRI SIMULADO SOBRE A NATUREZA DA LUZ: UMA ESTRATÉGIA PARA
DISCUTIR ASPECTOS DA NATUREZA DA CIÊNCIA**

O presente trabalho em nível de Mestrado foi avaliado e aprovado, em 25 de abril de 2025, pela banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Dr. José Francisco Custódio - Examinador titular
Universidade Federal de Santa Catarina

Dra. Roseline Strieder - Examinadora titular
Universidade Federal de Santa Catarina

Certificamos que esta é a versão original e final do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para a obtenção do título de Mestra em Ensino de Física.



Documento assinado digitalmente
ALEXANDRE MAGNO SILVA SANTOS
Data: 17/07/2025 16:22:11-0300
CPF: ***.397.277-**
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Coordenação do Programa de Pós-Graduação



Documento assinado digitalmente
Gabriela Kaiana Ferreira
Data: 17/07/2025 16:15:39-0300
CPF: ***.978.009-**
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Dra. Gabriela Kaiana Ferreira
Orientadora

Florianópolis, 2025

RESUMO

JÚRI SIMULADO SOBRE A NATUREZA DA LUZ: UMA ESTRATÉGIA PARA DISCUTIR ASPECTOS DA NATUREZA DA CIÊNCIA

Julia Bristot Matos

Orientadora:

Dra. Gabriela Kaiana Ferreira

Esta dissertação tem como objetivo analisar de que maneira uma sequência didática, fundamentada na História e Filosofia da Ciência (HFC), que culmina em uma atividade de júri simulado sobre a natureza da luz, pode contribuir para a construção de concepções mais informadas sobre a Natureza da Ciência (NdC). A motivação principal do estudo foi explorar, no ensino médio, os debates históricos e epistemológicos em torno da natureza da luz, os quais envolvem modelos ondulatórios e corpusculares, com vistas a enriquecer o ensino de física moderna e contemporânea. O uso de HFC propicia a abordagem de aspectos de NdC, demonstrando, através de um recorte real, o desenvolvimento do conhecimento científico. A estratégia de aprendizagem ativa de júri simulado, permite aos participantes assumirem o papel de protagonistas do próprio aprendizado, construindo e desconstruindo os argumentos e estimulando o pensamento crítico e reflexivo. A metodologia de análise de dados empregada possui abordagem mista, incluindo a aplicação de questionário, produção de textos e registros de debates entre os estudantes. Os dados obtidos indicam que os estudantes demonstraram uma visão mais informada de natureza da ciência na compreensão de aspectos como a tentatividade do conhecimento científico, o papel da criatividade e a validade de teorias concorrentes. A sequência didática revelou-se frutífera ao promover entendimento mais refinado sobre ciência.

Palavras-chave: Natureza da ciência. Júri Simulado. Ensino de Física. Dualidade da luz

ABSTRACT

MOCK TRIAL ON THE NATURE OF LIGHT: A STRATEGY FOR DISCUSSING ASPECTS OF THE NATURE OF SCIENCE

Julia Bristot Matos

Supervisor:

PhD Gabriela Kaiana Ferreira

This dissertation aims to analyze how a didactic sequence, grounded in the History and Philosophy of Science (HPS), culminating in a mock trial activity about the nature of light, can contribute to the development of more informed conceptions about the Nature of Science (NOS). The main motivation behind this study was to explore, at the high school level, the historical and epistemological debates surrounding the nature of light—which involve wave and particle models—with the goal of enriching the teaching of modern and contemporary physics. The use of HPS allows for an approach that includes aspects of NOS by demonstrating, through a real historical context, the development of scientific knowledge. The active learning strategy of a mock trial enables participants to take on a leading role in their own learning, constructing and deconstructing arguments, and fostering critical and reflective thinking. The data analysis methodology used follows a mixed-methods approach, including questionnaires, written assignments, and records of student debates. The collected data indicate that students demonstrated a more informed view of the nature of science, particularly in understanding aspects such as the tentativeness of scientific knowledge, the role of creativity, and the validity of competing theories. The didactic sequence proved fruitful in promoting a more refined understanding of science.

Keywords: Nature of Science. Mock Trial. Physics Teaching. Wave-Particle Duality.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação do modelo do Sistema de Ensino com seus setores e relações, na óptica da Didática Francesa.....	38
Figura 2 - Taxonomia de Bloom revisada por Iowa State University (2012).....	45
Figura 3 - Configuração do experimento da dupla fenda.....	51
Figura 4 - Representação da onda eletromagnética.....	54
Figura 5 - O espectro eletromagnético.....	54
Figura 6 - Distribuição espectral $R(\lambda)$ para várias temperaturas.....	56
Figura 7 - Comparação da lei de Planck e da lei de Rayleigh-Jeans.....	58
Figura 8 - Escala de Significância de Fisher.....	69
Figura 9 - Questão 82 da prova do ENEM de humanidades 2024.....	78
Figura 10 - Respostas da questão 8 alternativa E.....	103
Figura 11 - Comparação das respostas 9D e 9F.....	106
Figura 12 - Compilado de respostas do questionário pós.....	124
Figura 13 - Resposta da questão 15 do questionário pós.....	145

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Temas de natureza da ciência e as sentenças correspondentes adaptadas do VOSE de Chen (2006).....	66
Tabela 2 - Quadro sintético de desenvolvimento das aulas da sequência didática...	75
Tabela 3 - Compilação dos resultados das fichas de avaliação da comissão da banca:.....	95
Tabela 4 - Tentatividade: média das respostas.....	100
Tabela 5 - Tentatividade: resultado do teste de Wilcoxon.....	100
Tabela 6 - Natureza da observação: média das respostas.....	102
Tabela 7 - Natureza da observação: resultado do teste de Wilcoxon.....	103
Tabela 8 - Método científico: média das respostas.....	105
Tabela 9 - Leis e teorias: média das respostas.....	107
Tabela 10 - Leis e teorias: resultado do teste de Wilcoxon.....	108
Tabela 11 - Leis e teorias 2: média das respostas.....	109
Tabela 12 - Papel da imaginação: média das respostas.....	110
Tabela 13 - Papel da imaginação: resultado do teste de Wilcoxon.....	111
Tabela 14 - Validação do conhecimento: média das respostas.....	112
Tabela 15 - Validação do conhecimento: resultado do teste de Wilcoxon.....	112
Tabela 16 - Subjetividade: média das respostas.....	115
Tabela 17 - Subjetividade: resultado do teste Wilcoxon.....	115
Tabela 18 - Objetividade: média das respostas.....	117
Tabela 19 - Objetividade: resultado do teste de Wilcoxon.....	118
Tabela 20 - Ensinar sobre tentatividade: média das respostas.....	120
Tabela 21 - Ensinar sobre a metodologia científica: média das respostas.....	121
Tabela 22 - Aspectos com sinalização de alteração de posicionamento.....	122
Tabela 23 - Aspectos evidenciados no Edital de Pesquisa.....	128
Tabela 24 - Aspectos evidenciados no Artigo Científico do grupo da teoria ondulatória.....	132
Tabela 25 - Aspectos evidenciados no Artigo Científico do grupo da teoria corpuscular.....	135

Sumário

1. Introdução.....	11
2. Fundamentação Epistemológica.....	14
2.1 O método empírico-indutivo da ciência.....	15
2.2 O método falsificacionista da ciência.....	19
2.3 Implicações no Ensino de Física.....	26
2.3.1 Recomendações curriculares: BNCC E PCN.....	34
3. Fundamentação Didática.....	38
3.1 Estratégia de ensino Júri Simulado.....	41
4. Fundamentação Conceitual.....	48
4.1 Do corpúsculo de Newton à onda de Huygens.....	48
4.2 O experimento da dupla fenda de Thomas Young.....	50
4.3 A onda eletromagnética de Maxwell.....	52
4.4 O problema do corpo negro.....	55
4.5 O efeito fotoelétrico e o “retorno” à teoria corpuscular.....	59
4.6 A dualidade onda-partícula.....	61
5. Metodologia da pesquisa.....	63
5.1 Questionário VOSE.....	65
5.2 Produções escritas.....	69
5.3 A banca simulada.....	72
6. Aplicação das aulas.....	73
6.1 Contexto de aplicação.....	73
6.2 Estrutura das aulas.....	75
6.3 Relato da aplicação e algumas reflexões.....	76
6.3.1 Aula 1 - Reflexão epistemológica: a natureza da ciência.....	76
6.3.2 Aula 2 - Reflexão conceitual: a natureza dual da luz.....	81
6.3.3 Aula 3 - Preparação para a banca simulada.....	82
6.3.4 Aula 4 - Realização da banca simulada.....	83
6.3.5 Aula 5 - Encerramento da atividade.....	97
7. Análise dos Resultados.....	99
7.1 Análise das respostas do questionário.....	99
7.2 Análise da produção textual.....	125
7.2.1 Análise do edital de pesquisa.....	126
7.2.2 Análise do artigo científico do grupo da teoria ondulatória.....	129
7.2.3 Análise do artigo científico do grupo da teoria corpuscular.....	132
7.3 Análise dos argumentos utilizados na banca simulada.....	136
7.4 Análise dos depoimentos finais.....	141
8. Considerações finais.....	146
REFERÊNCIAS.....	150
Apêndice A - Parecer Consubstanciado do CEP.....	156

Apêndice B - Termo de Assentimento Livre e Esclarecido (TALE).....	162
Apêndice C - Termo de Consentimento Livre e Esclarecido 1 (TCLE 1).....	166
Apêndice D - Termo de Consentimento Livre e Esclarecido 2 (TCLE 2).....	170
Apêndice E - Questionário VOSE.....	174
Apêndice F - Edital para Projetos de Pesquisa Científica produzido pelos estudantes.....	180
Apêndice G - Artigo Científico produzido pelos estudantes do grupo que defendeu a teoria ondulatória.....	182
Apêndice H - Artigo Científico produzido pelos estudantes do grupo que defendeu a teoria corpuscular.....	189
Apêndice I - Produto Educacional.....	203

1. Introdução

Frequentemente, o ensino de física se restringe a aplicação de leis e equações, resolução de problemas abstratos e desconexos da realidade do estudante, e isso faz com que este aluno, muitas vezes, saia da escola sem entender como a ciência realmente funciona. Poucas são as oportunidades de discutir a ciência para além dos conteúdos programáticos. Quando, no entanto, há o empenho de realizar trabalhos de pesquisa científica, para mostras científicas por exemplo, geralmente o fazem sob uma perspectiva ingênua, reforçando a ideia de um método científico universal, quase sempre indutivo.

A motivação para este estudo surgiu do desejo de incorporar aspectos da natureza da ciência nas aulas de física. Em especial, essa reflexão se originou do estudo da natureza da luz e os conflitos teóricos ao longo da sua evolução. Ao estudar sobre as grandes reviravoltas conceituais no desenvolvimento deste conceito, surgiu o desejo de explorar mais sobre os debates na comunidade científica acerca dessas mudanças conceituais.

Perguntas como “Sob quais circunstâncias devemos abandonar uma teoria?”, “Como são feitos os embates teóricos quando há duas teorias se propondo a explicar o mesmo fenômeno?”, “Como é a postura da comunidade científica ao encarar as fronteiras do conhecimento?” me motivaram a pesquisar mais sobre o episódio histórico e sobre epistemologia.

O tema de estudo centrado na natureza da luz possibilita também a abordagem de aspectos introdutórios para a discussão sobre mecânica quântica, algo que considero de extrema relevância para ser incorporado ao ensino de física no Ensino Médio. Muitas são as indicações curriculares para a inserção da Física Moderna nas aulas, mas pouco ainda é feito. A grande demanda de conteúdos programáticos e a organização curricular que projeta os conteúdos de Física Moderna como os últimos a serem trabalhados são alguns dos fatores que fazem com que estes temas sejam pouco abordados no Ensino Médio.

Atividades como a de um júri simulado podem ser utilizadas como estratégia para trabalhar os temas de natureza da luz diretamente e de natureza da ciência de maneira indireta. Essa estratégia de ensino, baseada em aprendizagem ativa, é

considerada como um tipo particular de “*Role-Play Game*” (RPG). Esse tipo de atividade propicia envolvimento físico e intelectual dos estudantes (MCSHARRY; JONES, 2000), promove o exercício do posicionamento crítico (GUIMARÃES; MASSONI, 2020) e da argumentação (DRIVER; NEWTON; OSBORNE, 2000).

Os estudiosos da área de História e Filosofia da Ciência (HFC) defendem que a implementação de HFC nas aulas de ciência, juntamente com uma estratégia de ensino adequada, proporciona uma melhor compreensão sobre o empreendimento científico (FORATO; PIETROCOLA; MARTINS, 2011). As alegações positivas ao uso de HFC nas aulas são de torná-las mais atrativas, humanizar a disciplina, além de promover uma melhor compreensão dos conceitos científicos, (MATTHEWS, 1995).

Dessa maneira, o objetivo geral deste trabalho consiste em *analisar de que maneira a sequência didática, pautada na história e filosofia da ciência, que culmina em uma atividade de júri simulado sobre a natureza da luz, pode contribuir para a construção de concepções mais informadas sobre a natureza da ciência.*

Para contemplar o objetivo geral desta pesquisa, foram definidos os seguintes objetivos específicos, que serão abordados ao longo de cada um dos capítulos deste trabalho:

- a. Apresentar uma discussão epistemológica abordando aspectos da natureza da ciência do ponto de vista do ensino de ciências;
- b. Apresentar uma discussão didática abordando aspectos metodológicos de ensino para aplicação e condução da atividade de júri simulado;
- c. Apresentar uma discussão conceitual abordando aspectos físicos e históricos da natureza da luz para fundamentar as discussões do júri;
- d. Elaborar, aplicar e avaliar uma sequência didática sobre a natureza da luz abordando a natureza da ciência;
- e. Identificar as concepções prévias de natureza da ciência dos estudantes e suas possíveis nuances ao longo da sequência didática;
- f. Analisar os conhecimentos e limitações dos conceitos físicos de onda, corpúsculo e dualidade da luz, demonstrado pelos estudantes durante a atividade e construção dos textos.

Assim, no Capítulo 2, alinhado ao objetivo “a”, encontramos a apresentação da fundamentação epistemológica para a discussão de Natureza da Ciência. Nele são apresentados as linhas epistemológicas empírico-indutivista e falsificacionista, as implicações no ensino de física da implementação de HFC nas aulas e as recomendações curriculares alinhadas a esses propósitos.

No capítulo 3 encontra-se a fundamentação didática, alinhada ao objetivo específico “b”, com propósito de respaldar os aspectos de estratégias e metodologias de ensino para a sequência didática. Uma breve apresentação do sistema de ensino da didática francesa, da perspectiva construtivista de ensino e aprendizagem e a descrição, fundamentação e benefícios alegados sobre a estratégia de ensino por júri simulado como uma atividade de aprendizagem ativa estão contidas neste capítulo.

O quarto capítulo, dedicado à fundamentação conceitual, está alinhado ao objetivo específico “c”. Os conceitos principais sobre a natureza da luz, com foco nos aspectos dissonantes entre as teorias ondulatórias e corpuscular e a fundamentação conceitual da proposta da dualidade onda-partícula são apresentados sob a perspectiva da história da ciência.

Os aspectos metodológicos da coleta e análise dos dados são apresentados no capítulo cinco. Os instrumentos de coleta de dados, questionário, produções textuais e gravação de áudio e vídeo são descritos juntamente com as ferramentas e abordagem metodológica utilizada para as análises.

No capítulo seis apresentamos o relato de aplicação, contendo os detalhes da sequência didática (objetivo específico “d”) e no capítulo sete temos os resultados das análises dos dados (objetivos específicos “e”, “d” e “f”). A análise dos questionários, das produções textuais, da atividade simulada e dos depoimentos foi feita de maneira integrativa e seus resultados são apresentados ao final do capítulo.

Por fim, no capítulo oito apresenta-se a síntese das atividades desenvolvidas, com as reflexões sobre a aplicação, dificuldades e limitações do estudo, resultados e possíveis implementações futuras (também alinhado ao objetivo específico “d”).

Este trabalho foi realizado em uma escola privada da cidade de Caxias do Sul, Rio Grande do Sul. A sequência didática de cinco aulas, contendo a aplicação de um júri simulado sobre a natureza da luz com objetivo de discutir sobre Natureza da Ciência, foi aplicada em uma turma de 3º ano do Ensino Médio, em uma turma de itinerário formativo.

2. Fundamentação Epistemológica

A epistemologia é a área da filosofia que se concentra na natureza, origem e limites do conhecimento humano. Ela busca elucidar questões sobre a validade do conhecimento científico e as circunstâncias e prerrogativas na qual se dá abandono de uma teoria. A epistemologia também investiga os diferentes métodos de obtenção de informações para diferentes áreas do conhecimento e os critérios para avaliar a demarcação de um campo científico. Em suma, trata-se do campo filosófico que investiga os processos pelos quais o conhecimento é obtido e justificado (OSTERMANN; CAVALCANTI, 2011).

A ciência ocupa uma posição de destaque na construção do conhecimento. Este prestígio se manifesta na confiança que a sociedade deposita nos resultados científicos, frequentemente invocados para validar produtos, políticas e decisões. O uso excessivo de termos como “comprovado cientificamente” em produtos apela para a ideia de segurança e qualidade relacionadas à produção científica e revela um grande interesse comercial em vincular a confiabilidade da ciência a esses produtos.

Ao mesmo tempo, o imaginário popular é povoado por um jeito de fazer ciência baseado em concepções simplistas e idealizadas que não condizem exatamente com a realidade. A ideia de um único método científico, “O método científico universal”, que parte da observação neutra, elabora hipóteses, as avalia através de experimentos e por fim, confirma ou descarta essas hipóteses não é o único, e muito menos o mais comum, modo de construir conhecimento.

Neste texto, buscaremos delinear duas visões epistemológicas de ciência, a empírico-indutiva, também aqui nomeado como indutivismo ingênuo e o falsificacionismo, ou racionalismo crítico, baseado na obra do filósofo Karl Popper. Traçaremos uma comparação entre os métodos com a intenção de superar a visão ingênua e indutiva da ciência, dando-lhe lugar a uma teoria mais informada como a do falsificacionismo.

2.1 O método empírico-indutivo da ciência

O método empírico-indutivo da ciência, também batizado como “indutivismo ingênuo” por Alan Chalmers (1993), se utiliza do raciocínio indutivo, que parte de enunciados particulares para generalizações, e da base empírica de observações da natureza para a obtenção do conhecimento. Essa visão foi fortemente difundida durante a Revolução Científica e hoje é associada a grandes cientistas do Século XVII, como Newton e Galileu, e ao filósofo Francis Bacon (CHALMERS, 1993, p. 24).

Os indutivistas argumentam que qualquer teoria pode derivar apenas da observação cuidadosa de um grande número de situações, e que a partir da catalogação das observações e resultados surgirão as novas hipóteses. Na linguagem indutivista, um grande número de observações particulares levam a uma afirmação universal (MOREIRA; MASSONI, 2016).

À luz do indutivismo, as teorias são construídas através da análise dos dados obtidos por observação ou experiência. As informações devem ser coletadas cuidadosamente sob uma extensa variedade de circunstâncias e repetidas vezes, sem um pré-julgamento dessas condições iniciais. A partir das análises conclui-se que se a propriedade “A” é observada em todos os exemplares da amostra, logo, por indução, ela é uma propriedade do grupo. Assim, obtêm-se a afirmação universal, que continuará a ser testada em outros contextos a fim de ampliar a base de proposições de observação.

Essa afirmação universal constitui o que conhecemos comumente como leis e teorias e compreende a generalização das observações particulares. As aplicações posteriores bem sucedidas da afirmação universal são o que estimulam e sustentam a teoria, “na filosofia indutivista o importante é a verificação, pois, através dela, poder-se-ia justificar a verdade ou pelo menos a probabilidade das teorias” (SILVEIRA, 1996, p. 202). A partir da afirmação universal, emprega-se a lógica dedutiva para prever e explicar outros fenômenos ainda não descritos ou englobados pelas experiências iniciais.

Para o indutivista ingênuo, o papel do cientista é de aceitar os dados e desenvolver a teoria para adequar-se a eles, sem a interferência de crenças pessoais ou culturais. A observação é considerada como uma base segura e confiável, pois, para ele “a fonte da verdade está sempre na experiência, no registro

empírico” (MOREIRA; MASSONI, 2016, p. 6). A fonte do conhecimento é a própria natureza, cabe apenas decifrá-la.

No entanto, uma das principais críticas a essa visão indutivista se dá ao fato de considerar que a observação deve ser neutra, livre de pressupostos e anteceder a teoria. Segundo os indutivistas, as subjetividades do cientista, suas crenças, imaginação e expectativas devem ser resguardadas e o tratamento dos dados deve ser puramente pragmático. Qualquer pessoa, na posse dos mesmos dados, chegará ao mesmo resultado.

Os argumentos da crítica, no entanto, apontam que sem o apoio anterior de uma teoria, as observações necessárias para descrever um fenômeno seriam infinitas. Sem a delimitação das condições que são relevantes ou não para a descrição da situação que se investiga, a exigência de “ampla variedade de condições” se torna inconcebível. Admitir que algumas condições iniciais são irrelevantes à pesquisa é recorrer a algum tipo de suporte teórico antes de avaliar os dados, algo que o indutivista desaprova.

Além disso, a indefinição na exigência da quantidade de observações que devem ser feitas antes de se chegar à afirmação universal é questionável. A sugestão do indutivista de aumentar a sua base de proposições de observação não deveria ser considerada solução, pois, como sugere Chalmers, “este problema deve ser enfrentado pelo aperfeiçoamento e maior alcance de nossas teorias e não pelo registro interminável de uma lista de observações sem objetivo” (1993, p. 61).

Ademais, encontram-se algumas limitações ao tentar averiguar a validade do método empírico-indutivo e sua confiabilidade. Se para o indutivista todo conhecimento é obtido através da experiência, o próprio sucesso do método deveria sustentar a sua validade. Ao observar repetidos casos de sucesso do emprego do método conclui-se que ele funciona. No entanto, temos aqui o chamado *problema da indução*.

O problema da indução discute a incongruência desse argumento circular. A lógica que pode ser empregada à transmissão da verdade pela dedução - que migra da afirmação universal para as explicações particulares, do todo para o singular - não deve ser repetida no processo indutivo da ciência, pois, como destaca Alan Chalmers em seu livro “O que é ciência afinal”,

Uma afirmação universal assegurando a validade do princípio de indução é aqui inferida de várias afirmações singulares registrando bem-sucedidas aplicações passadas do princípio. O argumento é portanto indutivo e assim não pode ser usado para justificar o princípio de indução. Não podemos usar a indução para justificar a indução (CHALMERS, 1993, p. 39)

O argumento lógico não pressupõe a retransmissão da veracidade através da indução, pois afirmações singulares verdadeiras podem levar à uma conclusão falsa e ainda assim serem logicamente válidas. São inúmeras as situações que demonstram essa inconsistência lógica, como o clássico exemplo do conjunto de afirmações singulares “todos os corvos já observados são pretos” induz à afirmação universal “todos os corvos são pretos”, o que não é necessariamente verdade, pois uma única observação posterior de um corvo não preto invalidaria essa conclusão.

O mesmo caso pode ser reescrito em termos da linguagem física da situação que se pretende abordar adiante. Um cientista empírico-indutivista poderia construir o seguinte argumento lógico “ao realizar o experimento ‘x’, repetidas vezes e sob diversas condições, a luz apresentou comportamento característico de fenômenos ondulatórios” e induzir a afirmação universal de que “a luz tem natureza ondulatória”.

Porém, como argumentou Silveira, “não importando quantas confirmações de uma teoria tenham sido obtidas, é sempre logicamente possível que, no futuro, se derive uma conclusão que não venha a ser confirmada” (1996, p. 200). Atualmente compreendemos que a luz apresenta comportamento dual, algo entre onda e partícula (discutiremos estes conceitos no capítulo 4), sendo assim, a afirmação universal do exemplo anterior, apesar de logicamente válida, não é verdadeira e peca em não contemplar aspectos relevantes para a descrição da natureza da luz.

Uma possível solução ao problema da indução, que foi definido por David Hume no século XVIII, ocorre através de um recuo à probabilidade (CHALMERS, 1993, p. 41). Se para o indutivista ingênuo o conhecimento científico é provado e verdadeiro, na versão probabilística considera-se o conhecimento científico como provavelmente verdadeiro.

Essa mudança ocorre no sentido de endossar a validade da afirmação universal, pois à medida em que se aumenta a base de proposições de observação, mais provável é a veracidade da afirmação universal. Reescrevendo o argumento clássico da afirmação universal, “os corvos provavelmente são pretos” ou “a luz provavelmente é uma onda”. Essa nova versão, porém, não pode ser sustentada

pelas bases da probabilidade, tendo em vista que a afirmação universal abrange um número infinito de situações e a probabilidade de que as afirmações particulares, por mais numerosas que sejam, aproximem-se de infinito é zero.

Além disso, o problema da indução permanece na versão modificada e probabilística da teoria, pois o problema da indução questiona a justificativa de validade da própria teoria e não o quão acurado são seus resultados. “As tentativas de justificar a versão probabilística do princípio de indução por apelo à experiência devem sofrer da mesma deficiência das tentativas de justificar o princípio em sua forma original” (CHALMERS, 1993, p. 42). Novamente, não podemos usar a indução para justificar o método indutivo.

O apelo à determinação da verdade sobre o mundo natural apenas a partir da experiência sensível e as limitações do uso da indução lógica para a obtenção de afirmações universais definitivas são os principais motivos pelos quais os epistemólogos contemporâneos caracterizam esse método como uma descrição antiquada e limitada do cotidiano científico. Em resumo, podemos verificar as características fundamentais do indutivismo científico, assim listados por Ostermann e Cavalcanti (2011, p. 39), como sendo:

- A observação é a fonte do conhecimento. O conhecimento sempre deriva direta ou indiretamente da experiência sensível (sensações e percepções);
- A busca pelo conhecimento é um processo lógico, algorítmico e rígido; seguindo-se rigorosamente as etapas do método científico chega-se necessariamente ao conhecimento científico;
- O conhecimento científico é obtido por indução;
- A evolução do conhecimento científico é cumulativa e linear;
- O conhecimento científico é definitivo;
- As teorias científicas não são criadas, inventadas ou construídas, mas descobertas através de um conjunto de dados empíricos;
- A ciência e a atividade observacional devem ser neutras, livres de pressupostos e preconceitos.

Esse conjunto de aspectos sobre o cotidiano científico e os procedimentos metodológicos retrata o que chamamos de visão ingênua da ciência. Essas ideias do viés empírico-indutivo não afetam somente o fazer científico, mas também a

comunicação sobre ciência. A propagação dessa visão distorcida sobre o trabalho e a comunidade científica, bem como a ideia de verdades imutáveis na ciência, acabam por difundir aspectos da natureza da ciência que não condizem com a realidade observada e que afastam a ciência dos interesses pessoais, culturais e até políticos da comunidade em geral.

Apesar de muito criticado, o método empírico-indutivo ainda está presente em livros didáticos (ALMEIDA; MENEZES, 2020), encartes de mostras científicas e difunde uma visão antiquada e limitada da ciência. É consenso na literatura a necessidade da superação da visão empírico-indutiva da ciência e, como argumenta Moreira e Massoni (2016, p. 5),

[...] a formação de um professor pesquisador deve contemplar não só os conteúdos específicos da sua própria disciplina e as questões metodológicas do ensino da mesma, mas também aspectos epistemológicos a fim de não ensiná-la sob um enfoque dogmático, empirista-indutivista, já superado pela epistemologia contemporânea

Diversos epistemólogos contemporâneos contribuíram para uma descrição mais aprimorada do progresso e métodos da ciência. A seguir, discutiremos a proposta epistemológica de Karl Popper, que surge justamente em oposição ao método empírico-indutivista da ciência.

2.2 O método falsificacionista da ciência

A epistemologia falsificacionista surge diante das falhas do indutivismo como uma nova alternativa de descrever a essência e o progresso da ciência. Difundida pelo filósofo Karl Popper, um dos teóricos que popularizou o racionalismo crítico da ciência (SILVEIRA, 1996), considera a ciência como um processo humano, que evolui por tentativa e erro, a partir da elaboração e testes de hipóteses no intuito de superar problemas de teorias anteriores.

O racionalismo crítico opõe-se diretamente ao positivismo lógico - do método empírico-indutivo - em diversas questões. Como destaca Castañon (2017, p. 279), Popper, em sua teoria,

Criticou o princípio da verificação como critério de demarcação e o substituiu por um conceito quase oposto, o de falsificabilidade; enterrou o método da indução e provou sua invalidade, substituindo-o por seu oposto, o método hipotético-dedutivo; desabsolutizou os fundamentos e as pretensões da ciência moderna, os tomando como meras conjecturas e defendendo uma ciência perfectível; rejeitou plenamente a antimetafísica positivista, reabilitando a metafísica como celeiro de ideias científicas

Podemos observar aqui algumas rupturas com o pensamento positivista em relação a aceitação da subjetividade da ciência e do cientista que a constroi, a influência das expectativas e pressupostos teóricos e a impossibilidade da obtenção da verdade sobre o mundo natural. Dentre as diversas teorias epistemológicas contemporâneas, mesmo que com pontos divergentes sobre os processos e o progresso científico, há um consenso sobre a necessidade de superação dos aspectos desse positivismo lógico da ciência. Desse modo, justifica-se a escolha do falsificacionismo de Karl Popper que iniciou essa discussão no século XX.

A premissa do método falsificacionista é construída sobre a ideia de falseabilidade dos argumentos. As teorias, aqui tratadas como conjecturas, não podem ser provadas verdadeiras, porém podem demonstrar-se falsas. Assim, de acordo com Silveira (1996, p. 207),

A falsificabilidade das teorias científicas é coerente com a atitude crítica. Não há formas de se provar a veracidade do conhecimento científico e entretanto a ciência pode perseguir a verdade através da exclusão de teorias falsificadas, substituindo-as por novas teorias que poderão se aproximar mais da verdade

Neste contexto, uma teoria vigente está constantemente sendo avaliada através de novas e diferentes hipóteses com intuito de falseá-la ou fortalecê-la. Caso essa teoria apresente resultados negativos em relação aos testes, uma nova hipótese substituirá a antiga apenas se puder explicar os novos resultados e também os pontos no qual a sua antecessora era bem sucedida.

Há aqui uma importante distinção entre o *contexto de descoberta* e o *contexto de justificação* das teorias. “Uma coisa é a gênese psicológica das ideias, outra, completamente diferente, é a sua prova como verdadeira ou ao menos provável - o contexto de verificação de uma teoria” (CASTAÑON, 2017, p. 281). No processo de proposição das conjecturas, os cientistas podem valer-se de sua criatividade, imaginação, crenças e até da metafísica, porém a sua justificação perante as teorias científicas pré-existentes deve ser rigorosa. “O que as fará

integradas ou não ao campo do conhecimento científico é o fato de gerarem consequências passíveis de falsificação” (CASTAÑON, 2017, p. 281).

Uma teoria só deve ser considerada como científica se puder ser posta à prova. Afirmações ambíguas devem ser evitadas, assim como proposições que não podem ser testadas também não são aceitas. Para a delimitação do campo científico a verificabilidade deixa de ser um critério e dá lugar à refutabilidade, ou seja, deve haver pelo menos um enunciado possível e logicamente válido que conflite com a teoria e que seja passível de ser averiguado.

Voltando ao clássico exemplo, agora na linguagem falsificacionista, a conjectura de que “todos os corvos são pretos” é considerada científica, pois a verificação de corvos de outra cor refutaria essa teoria. Vale ressaltar que essa conjectura, apesar de científica, ainda passará por testes para poder ser classificada como válida ou falsa. Esse critério de demarcação também pode ser visto pelo contra-exemplo, como demonstra Silveira, “as teorias pseudocientíficas, não científicas ou metafísicas são irrefutáveis pois não proíbem nada, não possuem falsificadores potenciais” (1996, p. 207). Desse modo, o critério de demarcação não apenas estabelece limites para o que pode ser considerado ciência, mas também sublinha a importância do confronto contínuo entre teoria e experiência.

Os falsificacionistas, inclusive, incentivam que o trabalho científico seja feito através de conjecturas audaciosas, que desafiam os conhecimentos já bem estabelecidos. Caso essas conjecturas apresentem resultados promissores há um grande movimento na comunidade científica e são reunidos esforços para refutá-la. Se resistir às tentativas de refutação a nova teoria é então incorporada.

No entanto, quando são propostas hipóteses conservadoras, que provavelmente serão verdadeiras, só há relevância ao desenvolvimento científico se mostrarem-se falsas. Pouco se contribui ao verificar que algo que se espera verdadeiro de fato o é. Ou seja, os falsificacionistas encaram com entusiasmo conjecturas audaciosas promissoras e conjecturas conservadoras controversas.

Assim como o trabalho científico é considerado como colaborativo e coletivo, a avaliação sobre as novas teorias ou conjecturas também é relativo às demais. “Em geral, uma teoria nova será aceita como digna da consideração dos cientistas se ela for mais falsificável que sua rival, e especialmente se ela prevê um novo tipo de fenômeno não tocado pela rival” (CHALMERS, 1993, p. 79). A nova teoria, portanto, deverá abranger uma gama maior de fenômenos sob sua especialização

para que possa ser ponderada, respaldando inclusive, a falha identificada na sua antecessora. O contexto histórico e social, bem como o conhecimento prévio do período inserido é que determinam o quão inovadora e revolucionária são as novas hipóteses.

Ainda tendo em vista a modificação de teorias através de novas hipóteses, não é incentivado as alterações do tipo *ad hoc*. Chama-se assim as modificações que são feitas na teoria original para protegê-la de uma falsificação, mas sem levar a novos testes ou novas evidências.

Uma modificação numa teoria, tal como o acréscimo de um postulado extra ou uma mudança em algum postulado existente, que não tenha consequências testáveis, e que já não fossem consequências testáveis da teoria não-modificada será chamada de modificação *ad hoc* (CHALMERS, 1993, p. 80)

Portanto, essas alterações, quando introduzidas com o objetivo de resolver uma anomalia específica, muitas vezes tornam a teoria menos falsificável e não aumentam o poder explicativo ou preditivo da teoria de uma forma geral. Em vez disso, elas resolvem problemas isolados sem contribuir para uma compreensão mais ampla ou aprofundada.

Para os falsificacionistas, a observação, e por consequência a obtenção dos dados, é livremente norteadada pela teoria, admitindo que esses dados são tão falíveis quanto a própria teoria que os avalia. A ideia de neutralidade é considerada como um mito filosófico, não há como desprender-se totalmente de suas experiências e considerar-se *tábula rasa*, “Portanto, toda observação se orienta sempre por expectativas teóricas, conscientes ou inconscientes. Ou seja, nosso corpo de teorias e expectativas sobre a realidade orientam o que do campo conceptual nós destacaremos como relevantes para observação” (CASTAÑON, 2017, p. 280). Qualquer observação ou teste é influenciado pelos nossos sentidos, concepções e expectativas, o que é aceito e esperado pelo falsificacionista.

Assim como há críticas ao indutivismo por apontar uma verdade absoluta, as críticas ao falsificacionismo recaem sobre a falsidade absoluta. As proposições e evidências que foram utilizadas para falsear uma teoria são igualmente falseáveis, não conferindo um caráter conclusivo à declinação de uma hipótese. “Falsificações conclusivas são descartadas pela falta de uma base observacional perfeitamente segura da qual elas dependem” (CHALMERS, 1993, p. 95). O problema com a

incerteza da validade das proposições de observação, impedem que o epistemólogo afirme categoricamente a veracidade ou falsidade de uma teoria.

Em uma posição popperiana, se admite a parcialidade do indivíduo cientista como uma característica substancial do processo, “Se nos sujeitarmos à crítica com demasiada facilidade, nunca descobriremos onde está a verdadeira força de nossas teorias” (POPPER, 1979, p. 68 *apud* SILVEIRA, 1996, p. 204). No entanto, como comunidade científica, a atitude falsificacionista deve prevalecer na busca da melhor descrição da natureza.

O saber científico é tão próximo da verdade quanto puder ser, a depender das condições disponíveis e do contexto da época. “A ciência está à procura da verdade apesar de não haver critérios através dos quais se possa demonstrar que uma dada teoria seja verdadeira” (SILVEIRA, 1996, p. 204). A construção do conhecimento científico é um processo dinâmico e interativo, em que teorias e dados influenciam-se mutuamente, logo, entende-se que as teorias não são definitivas ou verdadeiras, mas sim nossas melhores aproximações da descrição da natureza no momento.

A famosa metáfora de Popper ilustra seu entendimento sobre verdades na ciência e a autenticidade das observações como sua base,

A base empírica de uma ciência objetiva não tem assim nada de “absoluto”. A ciência não repousa sobre um sólido leito pedregoso. A audaciosa estrutura de suas teorias ergue-se como se estivesse sobre um pântano. Ela é como um prédio construído sobre estacas. Estas são impulsionadas para baixo no pântano, mas não para alguma base natural ou “dada”; e se paramos de impulsionar as estacas mais para o fundo não é porque alcançamos solo firme. Nós simplesmente paramos quando ficamos satisfeitos pelas estacas estarem suficientemente firmes para aguentar a estrutura, ao menos por um tempo (POPPER, 1968, p. 111 *apud* CHALMERS, 1993, p. 95)

De acordo com essa epistemologia a ciência é, então, provisória, parcial e dogmática e ainda assim, nossa melhor fonte de conhecimentos e aprendizados. O desenvolvimento tecnológico baseado na aplicação bem sucedida da ciência é uma forte evidência da credibilidade que podemos depositar nesse conjunto de saberes que foi construído. Em suma, os fundamentos da epistemologia defendida por Karl Popper, assim listados por Silveira (1996, p. 217), são indicados a seguir:

- A concepção segundo a qual o conhecimento científico é descoberto em conjuntos de dados empíricos - método indutivo - é falsa;
- Não existe observação neutra, livre de pressupostos; todo o conhecimento está impregnado de teoria;
- O conhecimento científico é criado, inventado, construído com objetivo de descrever, compreender e agir sobre a realidade;
- As teorias científicas não podem ser demonstradas como verdadeiras; são conjecturas, virtualmente provisórias, sujeitas à reformulações, à reconstruções;
- Todo o conhecimento é modificação de algum conhecimento anterior;

Esses aspectos do racionalismo crítico marcam uma mudança significativa na Filosofia da Ciência na forma como o empreendimento científico é compreendido e na superação do Positivismo Lógico e do método empírico-indutivo (CASTAÑON, 2017). As diversas linhas de epistemologia contemporânea, mesmo com algumas divergências na descrição dos métodos pelos quais ocorrem a obtenção do conhecimento, são uníssonas no apontamento da necessidade de superação da visão ingênua do método empírico-indutivo.

Na unanimidade das características apontadas pelos teóricos contemporâneos encontramos algumas identidades da Natureza da Ciência que merecem ser sublinhadas. A lista de Moreira e Massoni (2016, p. 54), com a exclusão dos pontos já comentados anteriormente, complementa a discussão com os seguintes destaques:

- não há um método único e algorítmico para fazer ciência (há uma diversidade metodológica);
- a ciência não é socialmente neutra e descontextualizada, leva em conta o indivíduo, suas ideias e necessidades, o lugar e a época em que vive.
- há uma permanente competição (ou substituição) de teorias e/ou programas de pesquisa (sobrevivem os mais aptos, os que explicam melhor, os que resolvem mais problemas científicos);
- conjuntos de conceitos e de teorias evoluem com o tempo acompanhando a própria evolução social e cultural (leis e teorias não são fixas e imutáveis);

- a construção e a aquisição de conhecimento científico é um processo problemático, não-linear, não-cumulativo;
- diferentes campos da ciência requerem diferentes técnicas e metodologias de forma que o quadro conceitual da Física clássica não dá conta dos campos de pesquisa de sistemas complexos;
- reconhece-se o papel da observação e experimentação na pesquisa científica sem cair no “reducionismo experimental” (observação e experimentação tomadas como infalíveis, capazes de refutar de forma imediata uma hipótese teórica).

Essas características, estruturadas em forma de lista, estabelecem uma ideia mais aprimorada e condizente com a complexidade envolvida no processo humano de fazer ciência. Esses aspectos históricos, sociais e políticos influenciam também na divulgação de ciência, o que nos leva às considerações necessárias no processo de ensino-aprendizagem.

Cabe destacar, no entanto, que a crítica ao indutivismo deve ser feita de maneira a reconhecer o papel da indução na ciência e a importância da evidência experimental como parte comum no trabalho científico. Moreira e Massoni (2016, p. 7) salientam que

[...] opor-se ao indutivismo não significa descartar a indução. É um erro pensar que, na prática, a indução não leva a teorias, ou conclusões mais gerais. Os cientistas usam, de fato, a indução para ir de um conjunto limitado de dados a uma conclusão mais geral. Mas provavelmente não o fazem acreditando que essa conclusão é única, ou universal. Então, o problema não é a indução em si, mas o indutivismo enquanto postura epistemológica, quer dizer, o erro está em supor que o conhecimento científico “verdadeiro”, as “leis universais”, se obtém por observação e indução

Portanto, o papel da experimentação fundamentada em teorias e da indução para chegar a leis gerais do conhecimento, ou falsificações gerais, devem ser abordados com cautela a fim de evitar equívocos.

Por fim, mesmo reconhecendo algumas limitações na teoria falsificacionista de Popper, pretende-se utilizar de sua epistemologia como base conceitual para a desconstrução de uma visão de ciência ingênua, podendo traçar paralelos diretos entre aspectos importantes da teoria empírico-indutiva e seu correspondente oposto

na teoria falsificacionista. A simplicidade na comparação desses aspectos pode ser um fator positivo ao objetivo de superação do indutivismo ingênuo.

Ademais, o argumento da falsificação também tem objetivo de auxiliar no direcionamento e condução do júri simulado, pautando a decisão do júri na impossibilidade de afirmar alguma verdade absoluta sobre conhecimentos científicos e passando a julgar pela teoria que melhor resistir às falsificações do grupo adversário.

De acordo com o objetivo final de superar os aspectos ingênuos do ideário popular e dar-lhe lugar a noções mais apuradas sobre o fazer científico, faz-se necessário adotar alguns complementos à teoria falsificacionista, tais como os da lista de Moreira e Massoni (2016, p. 54). Assim, a teoria falsificacionista não deve ser encarada como um fim último, mas sim como o começo de um longo trabalho de construção de uma visão de ciência contemporânea e fidedigna ao que encontramos em desenvolvimento.

2.3 Implicações no Ensino de Física

Os estudiosos da área de História e Filosofia da Ciência (HFC) defendem que a implementação de HFC nas aulas de ciência, juntamente com uma estratégia de ensino adequada, auxilia em uma melhor compreensão sobre o empreendimento científico e, principalmente, a desconstruir uma visão ingênua de ciência, expressa por ideias alinhada ao que denominamos de visão empírico-indutiva da ciência. Para este propósito, um embasamento epistemológico no planejamento do material didático é essencial para nortear essas discussões, direta ou indiretamente.

A história da ciência busca retratar episódios reais, inseridos em seu contexto social, político e cultural, suas consequências e reverberações no mundo atual. Através da história da ciência é possível discutir diferentes cenários, revelando como os cientistas desenvolveram algumas teorias, suas motivações, influências, interesses e percalços nesse caminho. Desse modo,

[...] destaca-se a importância de se aprender sobre o que caracteriza a ciência como um empreendimento humano, e defende-se a história da ciência como uma estratégia pedagógica adequada para discutir certas características da natureza da ciência (FORATO; PIETROCOLA; MARTINS, 2011, p. 29)

Objetiva-se, então, que um ensino pautado na história e na filosofia da ciência seja reflexivo e contextualizado.

O uso de HFC nas aulas de ciência tem sido recomendado por diversos pesquisadores como uma alternativa frutífera na educação científica (FORATO; PIETROCOLA; MARTINS, 2011; GIL PÉREZ *et al*, 2001; MARTINS, 2008; MATTHEWS, 1995; MOURA, 2014; VITAL; GUERRA, 2014). As avaliações dessa estratégia evidenciam a possibilidade de tornar as aulas mais dinâmicas e reflexivas, além de humanizar as ciências, demonstrando a sua inserção no contexto social, cultural e político.

No entanto, para delinear as vantagens de um ensino pautado em HFC e NdC, devemos primeiro, compreender quais os pontos que se pretende evitar ou superar com isso. Gil Pérez e colaboradores (2001) destacam algumas possíveis deturpações na visão do trabalho científico, confrontando a literatura de artigos especializados com a percepção de professores de ciências (física, química e biologia).

Segundo essa pesquisa, a concepção mais amplamente destacada na literatura é o que chamaram de **concepção empírico-indutiva e ateórica**, que vem de encontro com os problemas destacados pelos epistemólogos contemporâneos em considerar o papel neutro da observação. Essa distorção, como discutida nas seções anteriores, reduz o papel da observação e da experimentação à contemplação, desconsiderando o necessário apoio de uma teoria em todo o processo. Além disso, desconsidera a existência dos diversos métodos científicos para diferentes áreas do conhecimento.

A visão **rígida e algorítmica/exata/infalível** se funde com a primeira ao transmitir que a ciência ocorre sempre por uma sequência de passos definidos. A caracterização da ciência por meio de um único método lhe conferiria um caráter infalível e altamente confiável, “[...] esquecendo - ou inclusive, recusando - tudo o que se refere à criatividade, ao caráter tentativo, à dúvida” (GIL PÉREZ, p. 130, 2001). O aspecto humano é desconsiderado com a prerrogativa de que a imparcialidade da ciência é resultado de sua rígida metodologia.

Tão frequentemente citada pelos professores quanto as anteriores, temos o destaque de uma **visão aproblemática e ahistórica**. Nela, a ocultação do contexto em que ocorreu a elaboração de teoria e as motivações dos cientistas impedem

reflexões sobre os processos da ciência e também do panorama atual de uma ciência em contínua evolução. “Trata-se de uma concepção que o ensino de ciência reforça por omissão” (GIL PÉREZ, p. 131, 2001), com a frequente escusa de falta de tempo didático e materiais adequados.

Professores destacaram também a **visão exclusivamente analítica** que é caracterizada pelo tratamento fragmentado dos conteúdos, sem se preocupar com a unidade a qual estes se propõem a descrever. Essa concepção faz oposição direta às recomendações de um ensino interdisciplinar e contextualizado.

A **visão acumulativa de crescimento linear**, pouco referida pelos professores durante a pesquisa, ignora as rupturas e crises do conhecimento durante a história da sua concepção. A negligência de episódios da história da ciência que evidenciam controvérsias teóricas, deixa de lado uma importante característica da ciência, o aspecto tentativo do confronto entre teorias em busca da melhor adequação ao corpo de conhecimento já estabelecido e à realidade experienciada. Essa concepção também é reforçada por omissão ao apresentar os conhecimentos do modo que hoje são aceitos, sem demonstrar como foram alcançados e os processos de crises e adequações.

A retratação problemática da ciência como empreendimento **individualista e elitista** é extensamente criticada e, no entanto, ainda difundida. As teorias aparecem como obras de um único cientista genial, fora da curva, visionário. Não se considera as diversas contribuições anteriores e o trabalho coletivo na construção e, principalmente, na validação dos conhecimentos. “Em particular, faz-se crer que os resultados obtidos por um só cientista ou equipe podem ser suficientes para verificar, confirmando ou refutando, uma hipótese ou toda uma teoria” (GIL PÉREZ, p. 133, 2001). Além disso, há ainda os aspectos de discriminação social, étnica e sexual, reservando a atividade científica a um seleto grupo masculino e elitizado.

Por fim, os autores destacam a **visão socialmente neutra da ciência**, sem evidenciar suas complexas relações entre ciência, tecnologia e sociedade (CTS). Apesar de, recentemente, ter sido largamente assinalada pelos documentos de orientações curriculares, os aspectos do impacto social de alguns empreendimentos científicos têm se mostrado ainda ignorados pelos professores da área nas atividades por eles desenvolvidas.

Essas sete visões apontadas devem ser reconhecidas como coexistentes e interligadas entre si formando uma trama conceitual. “Assim, essas concepções

aparecem associadas entre si, como expressão de uma imagem global ingênua da ciência que se foi decantando, passando a ser socialmente aceita” (GIL PÉREZ, p. 134, 2001). Com o objetivo de superá-las, aplicam-se diversas estratégias, dentre elas o uso de HFC.

A recomendação do uso contextualizado de História e Filosofia da Ciência feita por Matthews (1995) é largamente difundida e comentada. Os motivos por ele apresentados são de que o uso de história da ciência pode motivar e atrair os estudantes, humanizar a matéria/disciplina e promover uma melhor compreensão dos conceitos científicos, já que assinala o seu desenvolvimento e aperfeiçoamento. Além disso, Matthews destaca que “há um valor intrínseco em se compreender certos episódios fundamentais na história da ciência” (1995, p. 172), citando a Revolução Científica e o Darwinismo, mas que estende-se a outros episódios. Esse comentário tem a intenção de apontar o caráter mutável da ciência com objetivo de, ao final, compreender os métodos da ciência e os padrões de mudança na metodologia vigente.

Ainda sobre o uso de história da ciência nas aulas de ciências, Matthews (1995) apresenta os argumentos dos críticos que apontam que o uso da história por professores de ciência geralmente é de má qualidade, o que chamam de *quasi-história*. Para eles, essa modificação pedagógica retrata uma camuflagem da história como história genuína, “onde a história é escrita para sustentar uma determinada versão de metodologia científica e onde as figuras históricas são retratadas à luz da metodologia ortodoxa atual” (MATTHEWS, 1995, p. 174). Além disso, o viés do texto histórico ou filosófico pode influenciar diretamente na propagação da história pedagógica, pois

Num grau ainda maior, sofrem influência da teoria da ciência, ou da filosofia da ciência em que o historiador acredita. Do mesmo modo como a teoria abraçada pelo cientista determina seu modo de ver, selecionar e trabalhar o objeto de estudo, também a teoria abraçada pelo historiador afetará seu modo de ver, selecionar e trabalhar o material de que dispõe. Como se diz por aí, se a filosofia da ciência é vazia sem a história, então a história da ciência, sem a filosofia, é cega (MATTHEWS, 1995, p. 174)

No entanto, mesmo reconhecendo a impossibilidade de imparcialidade da história, a defesa da inclusão de HFC se faz sustentada sob a justificativa de bom senso e de boas estratégias. Todo retrato da história é uma simplificação do fato ocorrido, assim como todo o conteúdo didático é uma simplificação do conteúdo

científico. “A tarefa da pedagogia é, então, a de produzir uma história simplificada que lance uma luz sobre a matéria, mas que não seja uma mera caricatura do processo histórico” (MATTHEWS, 1995, p. 177), levando em conta também a faixa etária dos estudantes, a complexidade do conteúdo e o currículo.

Forato, Pietrocola e Martins (2011) destacam sete desafios principais ao tentar harmonizar a história da ciência com os propósitos educacionais e aspectos epistemológicos. O primeiro desafio sublinhado é a **seleção do conteúdo histórico**, cuja avaliação deve contemplar aspectos para uma abordagem na qual “o tema histórico deve favorecer os objetivos epistemológicos pretendidos, deve estar adequado ao ambiente educacional em questão, e deve contemplar aspectos viáveis para as possibilidades do professor poder tratar o tema adequadamente”. (FORATO, PIETROCOLA, MARTINS, 2011, p. 44). Em suma, esse conteúdo pode ser cuidadosamente selecionado para favorecer os objetivos didáticos e epistemológicos.

Assim que definido o tema, a seguinte consideração deve ser sobre o **tempo didático**. Além da reflexão evidente sobre a quantidade de aulas exigidas para desenvolver o tema, o argumento se estende ao tempo necessário para a compreensão do conteúdo selecionado. Quanto maior a complexidade do episódio, maior deverá ser o tempo de envolvimento com as atividades, bem como uma limitação no tempo disponível irá causar uma redução na quantidade de conteúdo histórico possível de se abordar.

Tão logo definido o tempo didático, é hora de ponderar sobre as possíveis **simplificações e omissões** e os riscos eminentes e toleráveis dessa escolha. “Muito além de construir um relato em linguagem apropriada, de desenvolver uma atividade didática adequada, de considerar o tempo didático e buscar uma interpretação diacrônica, essa transposição fatalmente incorrerá em delimitações” (FORATO, PIETROCOLA, MARTINS, 2011, p. 46). Um recorte histórico sempre implicará em uma simplificação e esta deve ser tomada de maneira a não reproduzir apenas uma caricatura ou uma visão tendenciosa do fato ocorrido.

Essa construção deve levar em conta, também, o risco de incorrer em um **relativismo** ao tentar se opor à visão empírico-indutivista. Os limites do papel da observação devem ser cuidadosamente deliberados a fim de não retratar que, então, tudo é válido.

Desse modo, seria adequado que a forma de apresentar o conteúdo histórico permitisse problematizar a observação neutra dos fenômenos e experimentos, sem, entretanto, desvalorizar a importância da observação, da evidência experimental, dos argumentos racionais e do ceticismo [...] (FORATO, PIETROCOLA, MARTINS, 2011, p. 47)

É possível delimitar as diferenças entre teorias concorrentes, apresentando suas evidências e estruturas, sem tropeçar na ideia de que são apenas opiniões pessoais dos cientistas.

A **inadequação dos trabalhos históricos especializados** para o nível de ensino do Ensino Médio é um problema delicado. De um lado temos os requisitos historiográficos de linguagem, coerência lógica e matemática, contexto e aprofundamento que exigem meticulosidade. De outro, temos o contexto de ensino que está empenhado em gerar interesse aos estudantes e trabalhar em um nível de complexidade menor do que nos textos da fonte primária. Esse trabalho exige cooperação entre historiadores da ciência e professores, o que nem sempre é de fácil acesso.

Juntamente com o obstáculo referido acima, temos os **supostos benefícios das reconstruções históricas lineares**. Aqui diz respeito a tradição encontrada nos livros didáticos de uma reconstrução ordenada dos acontecimentos históricos com a premissa de simplicidade lógica, mas que remetem a uma pseudo história.

Por fim, um dos maiores desafios encontrados é a **falta de formação específica do professor**. A grande carga exigida do professor em conhecimento do conteúdo, da didática, da epistemologia e da história da ciência é desleal e poderiam ser mitigados ao oportunizar uma formação consciente destes obstáculos e crítica a seu respeito. “Além disso, é necessário desenvolver esforços para que o resultado dessas e de outras pesquisas envolvendo os usos de HFC na sala de aula sejam acessíveis aos professores” (FORATO, PIETROCOLA, MARTINS, 2011, p. 50). Mensurar o impacto desse obstáculo é difícil, pois se estende a todos os outros seis, formando assim uma teia de desafios ao professor bem intencionado para trabalhar temas de história e filosofia da ciência.

Compreendidas as deturpações mais comuns na visão do trabalho científico e dados os desafios para incorporar os aspectos de história da ciência na sala de aula, nos resta refletir sobre a visão de Natureza da Ciência que desejamos para os nossos alunos. As discussões sobre NdC e HFC giram em torno dos aspectos consensuais listados por Lederman *et al* (2002), também encontradas em trabalhos

como Abd-El-Khalick *et al* (2008), e Abd-El-Khalick e Lederman (2023). Essa lista de aspectos compreende o que chamamos de visão consensuada da NdC e reúne características e aspectos adequados ao nível da educação básica e que contribuem para o desenvolvimento de uma compreensão minimamente informada da ciência pelos estudantes.

A distinção entre observação e inferência é necessária. O **caráter empírico** do conhecimento científico é derivado de **observações** de fenômenos naturais. No entanto, essas observações são filtradas pela percepção dos sentidos e/ou pelo funcionamento dos instrumentos científicos. Não temos acesso “direto” à maioria dos fenômenos naturais e a sua interpretação vem carregada de filtros de percepção e compreendidas com base nas estruturas teóricas já elaboradas.

Dessas observações dos fenômenos naturais podemos inferir algumas conclusões. As observações são declarações descritivas sobre os fenômenos naturais. Inferências, por outro lado, são declarações baseadas em manifestações ou efeitos secundários à observação. Um exemplo de observação de objetos caindo em direção ao solo pode gerar o **conhecimento inferencial** de que esse efeito ocorre por causa da gravidade. “Construtos científicos, como a gravidade, são inferenciais no sentido de que só podem ser acessados e/ou medidos por meio de suas manifestações ou efeitos” (ABD-EL-KHALICK; LEDERMAN, 2023, p. 856, tradução nossa).

Destacar a natureza criativa e subjetiva do conhecimento científico, bem como a influência das expectativas teóricas dos cientistas é importante. A ciência é uma atividade humana e criativa, exige que os cientistas desenvolvam experimentos, testes para as suas hipóteses e inventem explicações. Essa **natureza criativa**, juntamente com o caráter inferencial, implica que as teorias são nada mais do que modelos funcionais que se aproximam da descrição da realidade.

Como atividade humana, a ciência também está sujeita às subjetividades do cientista. As crenças, conhecimentos prévios e expectativas influenciam o trabalho científico direta e indiretamente, afetando as observações (tanto no que será/é quanto no que não é/será observado) e as interpretações provenientes dessas observações. As observações são **carregadas de teoria** e, portanto, a geração do conhecimento científico está intimamente ligada aos precedentes e expectativas teóricas.

Desmistificar a ideia de absoluta verdade na ciência e de existência de um método único de fazer ciência é fundamental. O **caráter tentativo** e provisório do conhecimento científico diz respeito às mudanças que podem vir a ocorrer à medida em que novas evidências e avanços conceituais ou tecnológicos são apresentados. O conhecimento científico é confiável e consistente, mas nunca absoluto, podendo sofrer rupturas, crises e ou evoluções.

Para uma diversidade de áreas do conhecimento e especificidades também existe uma diversidade metodológica. Os cientistas observam, medem, comparam, testam, formulam hipóteses, debatem, constroem ferramentas e aparatos experimentais, formulam explicações, mas nada disso representa uma única sequência de atividades que conduz, de maneira infalível, a alegações válidas. Esse aspecto é conhecido como o **mito do método científico universal**.

A distinção entre leis e teorias científicas é necessária. Por definição, **teorias científicas** são modelos explicativos que têm por objetivo elucidar um grande conjunto de observações. Quanto menos aparentemente relacionadas são as observações explicadas pela teoria, mais forte ela será. A concordância entre previsões e observações aumenta a confiança na teoria testada.

Já as **leis científicas** são alegações descritivas dos fenômenos naturais, são descrições da relação entre variáveis ou regularidades observáveis nos fenômenos. Ao contrário da crença comum, leis e teorias são tipos diferentes de conhecimento e não são hierarquicamente relacionáveis. As leis científicas são tão legítimas quanto as teorias científicas no sentido de produtos da ciência.

Destacar o aspecto social e cultural da ciência é essencial. O conhecimento científico depende da comunidade científica que, por sua vez, tem suas agendas e particularidades. A ciência afeta e é afetada por elementos culturais, sociais, filosóficos, religiosos, políticos e econômicos que são inerentes ao ser humano que a pratica. Esses efeitos da **inserção social e cultural da ciência** se manifestam no direcionamento de financiamentos públicos, necessidade iminente de solução de um problema, tal qual o desenvolvimento de vacinas, entre outros.

A comunidade científica como um todo se esforça para minimizar os efeitos das idiossincrasias e subjetividades dos cientistas individuais através da análise coletiva dos dados e teorias. A **dimensão social da ciência** é exemplificada pela revisão por pares, testes duplo-cego, triangulação de dados e outros esforços realizados para aumentar a objetividade do conhecimento científico. Essa

cooperação e negociação através de interações sociais enriquecem o processo científico aumentando a confiabilidade dos processos e dos resultados.

Essa lista de dez características compõem uma visão avançada e sofisticada da natureza da ciência, devendo ser compreendidos como complementares entre si. Cabe ressaltar que esses aspectos não formam um conjunto rígido de regras, podendo necessitar de algum ajuste fino nas características elencadas para diferentes áreas da ciência. No entanto, no contexto da educação científica, a compreensão, domínio e aplicação destes aspectos ao avaliar o conhecimento científico, evidencia que alunos e professores estão alinhados a um entendimento que os autores denominam de visão informada da natureza da ciência (LEDERMAN *et al.*, 2002; ABD-EL-KHALICK *et al.*, 2008; ABD-EL-KHALICK; LEDERMAN, 2023).

As considerações ponderadas acima constroem uma noção mais cuidadosa sobre o ensino de e sobre ciências. Gil Pérez e colaboradores (2001) elencam as principais deturpações na visão sobre o trabalho científico e alertam para não incorrer sobre eles e propagar uma imagem distorcida de ciência. Lederman *et al* (2002) e Abd-El-Khalick *et al* (2008) sistematizam os aspectos de NdC que constituem uma visão informada de ciência sob os quais devemos focar a nossa atenção ao ensinar sobre ciência. Forato, Pietrocola e Martins (2011), por fim, refletem sobre os desafios ao harmonizar a história da ciência com os propósitos educacionais e epistemológicos a fim de instrumentalizar o professor para enfrentá-los de forma consciente.

Esses são alguns dos muitos estudos que têm destacado a importância de ensinar, juntamente ao conteúdo científico, características de NdC. Essa tendência apontada pela literatura pode ser identificada como uma recomendação nos documentos orientadores de ensino no Brasil.

2.3.1 Recomendações curriculares: BNCC E PCN

O ensino básico no Brasil tem passado por diversas reformas em termos de orientações curriculares, vide os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) do ano de 1997, a sua versão complementar para o Ensino Médio (PCNEM) do ano de 2000 e, mais recentemente, a nova Base Nacional Comum Curricular (BNCC) de 2018. O que é consenso entre os novos documentos orientadores é a necessidade

de articular os conhecimentos de forma a contextualizar o cotidiano do estudante e propiciar o desenvolvimento de competências e habilidades. De acordo com Castro *et al* (2020, p. 26),

A Base Nacional Comum Curricular do Ensino Médio apresenta-se como um divisor de águas para esse nível de ensino, uma vez que impõe às escolas uma educação pautada no desenvolvimento de competências e habilidades. Algo que se antes figurou como opção curricular, primeiramente com os PCN e depois com o Enem, hoje tem força de norma a partir da homologação da BNCC, no final do ano de 2018. Dessa forma, caberá ao professor praticar um ensino que esteja em consonância com esse documento

Segundo essa nova indicação, o direcionamento das aulas deixa de ser o conteúdo programático e passa a ser o desenvolvimento integral do estudante, aprimorando sua capacidade de mobilizar, articular e integrar conhecimentos, habilidades e atitudes (BRASIL, 2018). Portanto, a prática docente deve ser reorientada de acordo com esses novos objetivos.

Em resumo, tomando como base o documento vigente da BNCC, a área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias está orientada em 3 Competências Específicas de Área e 23 Habilidades Específicas de Área. De acordo com a análise de Castro e colaboradores (2020, p. 27), essas competências e habilidades possuem semelhanças e suas tendências apontam para a contextualização entre Ciência, Tecnologia, Sociedade e Meio Ambiente, Interdisciplinaridade e proposição de Resolução de Problemas.

Examinando as Habilidades Específicas de Área, encontram-se duas com especial interesse que vêm ao encontro com os objetivos desta pesquisa. A primeira delas, EM13CNT301, diz respeito a

Construir questões, elaborar hipóteses, previsões e estimativas, empregar instrumentos de medição e **representar e interpretar modelos explicativos**, dados e/ou resultados experimentais para construir, avaliar e **justificar conclusões no enfrentamento de situações-problema sob uma perspectiva científica** (Brasil, 2018, grifo nosso)

A importância de debater a validade de modelos explicativos, alcance de seus resultados e interpretações (divergentes inclusive) é agora reforçada com uma habilidade específica e está em conformidade com o que muitos filósofos e pesquisadores da educação já alertavam para o ensino de ciências. Podemos

contemplar essa habilidade, relativa ao cotidiano científico, nas discussões sobre natureza da ciência durante a sequência didática.

Outra habilidade que gostaríamos de destacar, EM13CNT302, enfatiza a importância de saber

Comunicar, para públicos variados, em diversos contextos, resultados de análises, pesquisas e/ou experimentos – interpretando gráficos, tabelas, símbolos, códigos, sistemas de classificação e equações, elaborando textos e utilizando diferentes mídias e tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC) –, de modo a **promover debates em torno de temas científicos e/ou tecnológicos de relevância sociocultural** (Brasil, 2018, grifo nosso)

A realização de atividades de debate permite ao estudante se apropriar de diferentes pontos de vista, refletir e julgar as evidências e, por fim, externalizar esses conhecimentos, o que exige um alto grau de domínio cognitivo. Além disso, o desenvolvimento da habilidade de comunicação em geral, e comunicação sobre ciências em específico, é de suma importância para o seu convívio em sociedade e tomadas de decisão na vida pessoal.

Dessa forma, torna-se necessário repensar a prática docente tradicional e expositiva a fim de propiciar um ambiente frutífero para o desenvolvimento integral do estudante. Ainda que os documentos normativos sofram alterações ao longo dos próximos anos, a recomendação para oportunizar a promoção desses aspectos segue sendo consenso entre os pesquisadores da educação e, portanto, deve ser considerada.

Como já anteriormente discutido, filósofos, historiadores, pesquisadores da área da educação científica têm destacado a importância de ensinar sobre a natureza da ciência, em especial com objetivo de superar a visão empírico-indutiva da ciência. O uso de HFC é reconhecido como uma estratégia adequada para abordar aspectos da natureza da ciência e, portanto, permite articular as características descritas anteriormente nas habilidades e competências. Como afirma Martins, mesmo de maneira transitória, “as recentes reformas educacionais, em nosso país, apontam para a necessidade da contextualização histórico-social do conhecimento científico, o que implica em considerar a contribuição da HFC [...]” (2008, p. 115). Ainda sobre essas contribuições, o autor segue, agora fazendo menção à alguns aspectos da natureza da ciência,

Assim, a HFC surge como uma necessidade formativa do professor, na medida em que pode contribuir para: evitar visões distorcidas sobre o fazer científico; permitir uma compreensão mais refinada dos diversos aspectos envolvendo o processo de ensino-aprendizagem da ciência; proporcionar uma intervenção mais qualificada em sala de aula (MARTINS, 2008, p. 115)

Portanto, sendo um dos objetivos do ensino de ciências informar sobre a essência e o progresso da ciência, faz-se necessário transportar as discussões de cunho epistemológico para a sala de aula de ciências no geral, e de física em específico.

Diferentes estratégias metodológicas podem ser utilizadas com o propósito de discutir as concepções de ciência dos estudantes, utilizando a HFC direta ou indiretamente. A proposta desta pesquisa se interessa pela aplicação da estratégia de ensino “júri simulado” na intenção de que a representação física e visual do contexto de controvérsias da ciência, retratando cenários reais de debates, possibilite aos estudantes refletirem sobre NdC.

3. Fundamentação Didática

Didática é a análise e desenvolvimento de técnicas e métodos com o objetivo de ensinar algum conteúdo. Em resumo, “a didática está orientada a discutir questões metodológicas do ato de ensinar” (MALHEIROS, 2019, p. 47). Para tanto, se faz necessário conhecer de metodologias e métodos e alinhá-los aos objetivos de ensino da disciplina.

O sistema de ensino da didática francesa apresenta uma maneira concisa de expressar as relações entre o professor, o estudante e o conhecimento, como representado pela Figura 1. Cada aresta do triângulo da imagem representa a interação entre dois agentes, posicionados nos vértices, sendo eles o professor (P), o estudante (E) e o conhecimento (C).

Figura 1 - Representação do modelo do Sistema de Ensino com seus setores e relações, na óptica da Didática Francesa



Fonte: Alves e Pinheiro (2010, p. 124)

O primeiro setor, o das estratégias de apropriação, diz respeito à relação entre o estudante e o conhecimento, que é de natureza psicológica e cognitiva. Essa dimensão é interna e individual de cada sujeito, mas pode ser explorada de maneira geral através da instrução sobre as concepções alternativas e os obstáculos encarados pelos estudantes ao aprenderem sobre determinado conhecimento.

As concepções ou representações alternativas são um ramo da pesquisa educacional que se dedica a mapear o perfil das representações constituídas pelos estudantes. Compreendê-las é importante, pois a “[...] aprendizagem de conceitos complexos ocorre pela organização e reestruturação de esquemas conceituais construídos a partir de noções intuitivas iniciais” (ALVES; PINHEIRO, 2010, p. 143). Construir a aprendizagem ancorada em conhecimentos prévios dos estudantes e reconhecer as concepções espontâneas errôneas mais comuns pode facilitar muito esse processo de aprendizagem.

Nesse mesmo contexto, podemos classificar os obstáculos encontrados no ensino como: de origem ontogenética quando relacionados à capacidade cognitiva e ou recursos (estruturas) mentais do estudante; de origem epistemológica quando relacionados à um saber mal adaptado; e de origem didática relacionados à escolha do professor por um sistema de ensino inadequado (ALVES; PINHEIRO, 2010, p. 158-159). Estar ciente desses obstáculos e planejar a prática didática no sentido de minimizá-los é de extrema importância.

O segundo setor, o das interações didáticas, estabelece a relação entre o professor e o estudante através do contrato didático. Essa relação é permeada por regras implícitas e explícitas que ditam a dinâmica de sala de aula. Dentro desse viés de referência sociológica é importante a coerência no estabelecimento dessas regras, das avaliações e na comunicação entre as partes.

Por fim, o terceiro setor diz respeito à elaboração dos conteúdos contidos na relação entre o professor e o conhecimento. Na transposição didática o conhecimento original, ou saber sábio, sofre um processo de transformação para se tornar o saber a ensinar. O conhecimento “[...] não é ensinado no formato original publicado pelo cientista, como também não é uma mera simplificação deste. O conteúdo escolar é um objeto didático, produto de um conjunto de transformações” (ALVES; PINHEIRO, 2010, p. 167). Através dessas transformações constroem-se as indicações curriculares, os conteúdos presentes nos livros didáticos e também a relação direta do professor com o conteúdo.

Os pesquisadores alertam para que, durante o processo de transposição didática, o conhecimento e o processo pelo qual se deu a construção dele não seja despersonalizado, descontextualizado ou dogmatizado. Se faz necessário as reflexões sobre epistemologia para retratar a ciência de forma adequada e, assim, “Ao professor, consciente da Transposição Didática, cabe a tarefa de criar um

‘cenário’ menos agressivo ao dogmatismo apresentado pelos livros didáticos e minimizar as diferenças entre o tempo didático e de aprendizagem” (ALVES; PINHEIRO, 2010, p. 173). Os mesmos autores ainda acrescentam que “[...] o professor deve buscar a criação de um ambiente que favoreça o rompimento com a imagem neutra e empirista da Ciência, imagem que é perpassada através dos manuais e livros didáticos” (p. 173).

Nessa perspectiva, as escolhas didáticas devem ser pensadas a fim de reconhecer e minimizar os obstáculos epistemológicos e didáticos e proporcionar um ambiente cujo conhecimento científico transposto didaticamente não seja uma mera simplificação ou caricatura do trabalho científico. Assim, passamos a considerar os meios pelas quais essas decisões serão executadas, as teorias de aprendizagem.

O construtivismo é muito mais do que uma linha metodológica, é uma forma de encarar a aquisição do conhecimento (LEÃO, 1999, p. 195). Para além da proposição de métodos e técnicas, a teoria construtivista se preocupa em descrever como ocorre o processo da aprendizagem humana com base em diferentes pressupostos originando diversas vertentes: piagetiana, sociológica, metodológica, pós-epistemológica, realista, humanista, entre outras (ALVES; PINHEIRO, 2010). No campo educacional, o construtivismo se manifesta complementarmente a partir das perspectivas psicológica (ou piagetiana) referente aos processos internos do sujeito e sociológica (interacionista) referente a influência do meio social e das interações provenientes dele.

De maneira geral, o construtivismo educacional a partir da perspectiva psicológica enfatiza o papel do aluno na construção do conhecimento quando envolvido ativamente com o meio. A aprendizagem ocorre na medida em que o indivíduo organiza suas estruturas mentais por meio da assimilação e acomodação, promovendo um desenvolvimento progressivo do pensamento. Sob essa concepção, o aluno se apresenta no centro do processo de ensino-aprendizagem do qual ele mesmo é o construtor.

Essa “inversão de papéis” do construtivismo educacional faz com que o professor assuma outra postura em sala de aula. “É o professor o mediador do processo de aprendizagem da criança, isto é, ele é quem vai propiciar a interação entre os alunos e entre ele e seus alunos” (LEÃO, 1999, p. 201). Adicionalmente, a mesma autora comenta que “O professor deve saber que a criança e o adolescente

aprendem em interação com o outro, que pode ser o próprio professor ou seus colegas de classe” (p. 201). Nesta perspectiva sociológica é valorizada a influência do meio social, das interações interpessoais e do uso da linguagem no aprendizado.

Portanto, em uma perspectiva de educação construtivista são necessárias atividades de cooperação entre os estudantes que proporcionem a eles o protagonismo na elaboração do conhecimento. Esse viés também se entrelaça com as discussões propostas neste trabalho pela perspectiva epistemológica. Alves e Pinheiro (2010) destacam que

No início do século XX, surge a visão filosófica construtivista que, contrariando as visões anteriores, propõe que o conhecimento não é descoberto, é uma construção humana transitória, dinâmica e não é verdade absoluta. O construtivismo substitui o “absolutismo” da tradição empirista e racionalista (p. 58)

Assim, as recomendações epistemológicas se reforçam no viés didático construtivista, indicando uma relação de coerência entre os referenciais. A partir da escolha do viés didático se define as estratégias de ensino a serem utilizadas na sequência didática. Neste trabalho, a escolha se deu por uma atividade cuja estratégia se baseia em aprendizagem ativa.

Por definição, “As metodologias ativas de aprendizagem entendem, de forma geral, que a aprendizagem é consequência da mobilização de competências para a resolução de um problema prático” (MALHEIROS, 2019, p. 158). O envolvimento cognitivo ativo dos estudantes é a principal característica deste tipo de metodologia, juntamente com o incentivo à participação, reflexão e aplicação prática do conhecimento.

Assim, as estratégias de ensino baseadas em aprendizagem ativa são um conjunto de ações planejadas visando o envolvimento cognitivo do estudante e a sua participação direta na construção do conhecimento, fomentando a interação entre os estudantes e a cooperação entre eles.

3.1 Estratégia de ensino Júri Simulado

O júri simulado é uma estratégia de ensino baseada em aprendizagem ativa, na qual os participantes interpretam papéis e, assim, são completamente inseridos

na problemática. A atividade consiste “na simulação de um júri, em que, a partir de um problema, são apresentados argumentos de defesa e de acusação” (ANASTASIOU; ALVES, 2006, p. 93). O problema a ser apresentado pode estar inserido em diferentes áreas do conhecimento, possibilitando um amplo alcance educacional de aplicação.

Atividades de júri simulado são um tipo particular de “*Role-play Game*” (RPG) em que a interpretação de papéis remonta ao cenário de um julgamento. Segundo McSharry e Jones (2000, p. 73), há três definições principais das interações com atividades no estilo RPG: brincar, jogar e simular, listadas em ordem crescente de complexidade educacional. Os autores elencam também sete categorias de atividades de RPG, são elas: experimentos, jogos, apresentações, jogo de papéis metafóricos, jogos de analogia, simulação e encenação em ciência. Sendo assim, a atividade de júri simulado se alinha à categoria de RPG de simulação.

O uso de atividades de RPG em ciências propicia o envolvimento físico e intelectual dos estudantes, possibilitando que, através da interpretação de papéis, o estudante se sinta na posse de seu próprio aprendizado (MCSHARRY; JONES, 2000, p. 74). O exercício da criatividade e imaginação também são alegações positivas ao uso desse tipo de atividade.

Uma revisão sistemática dos trabalhos publicados em revistas científicas brasileiras sobre o uso da estratégia de júri simulado no ensino de ciências e matemática encontrou, no período de 1990 até 2022, 17 trabalhos com essa temática (BARROS, 2022). As áreas com mais publicações são física e química, com 4 publicações cada uma, e o que a autora categorizou como ciências, também com 4 publicações, com temas associados à natureza da ciência. A área de biologia apresentou 2 publicações e outras 2 foram categorizadas como de abrangência social. Não ocorreu nenhuma publicação no âmbito da matemática.

A temática de geração de energia apareceu com maior recorrência, englobando as áreas de física e química, mas as discussões sobre natureza da ciência, por mais que com abordagens diferentes entre os trabalhos, também apresentaram certo destaque. Esses dados sinalizam coerência e relevância do uso de uma estratégia por júri simulado para abordar NdC e aspectos conceituais de física.

Ainda sobre a revisão dos trabalhos publicados, “quase todos indicaram a melhoria da argumentação dos alunos como aspectos positivos da implementação

do júri simulado nas aulas” (BARROS, 2022, p. 64). Essa defesa do desenvolvimento da capacidade argumentativa em atividades de debate também pode ser encontrada nos trabalhos (ANASTASIOU; ALVES, 2006; BARROS, 2022; ELMÔR FILHO *et al*, 2019; GUIMARÃES; MASSONI, 2020; MELO; VIEIRA, 2022). Além disso, pesquisas analisando atividades semelhantes de debates também evidenciam um aumento no interesse e engajamento dos estudantes (LIMA; SOUSA; SITKO, 2021; NELSON; CROW, 2014; SANTOS; MORTIMER; SCOTT, 2001, SILVA, 2010).

A utilização de atividades que proporcionem o debate e o posicionamento crítico dos estudantes têm, como destaque educacional,

[...] desenvolver capacidades críticas no estudante, construir raciocínios e hipóteses coerentes e consistentes para um melhor entendimento, compreensão e posição crítica frente a uma gama de temáticas e assuntos sociocientíficos atuais e relevantes (GUIMARÃES; MASSONI, 2020, p. 500)

Os autores Guimarães e Massoni (2020), na definição de argumento e argumentação, assim o fazem: “A principal característica e a função primordial dos argumentos é o apoio que a conclusão recebe a partir das asserções e das proposições que compõem as suas premissas” (p. 488-489). Porém, na distinção entre o argumento e a sua função na argumentação, destacam que “uma coisa é utilizar um argumento como ferramenta de análise e de ensino, outra distinta é produzir efetivamente um discurso que seja minimamente racional e que a capacidade argumentativa resulte a partir daí” (p. 489).

Ou seja, para além de certo ou errado, a construção de argumentos coerentes não implica, necessariamente, em um papel argumentativo coerente. É necessário criar conexões lógicas e racionais entre os argumentos de forma que essa estrutura se sustente.

Driver, Newton e Osborne (2000) fazem a sua defesa da implementação de atividades argumentativas nas aulas de ciência com base nos aspectos sociais da natureza da ciência. “A ciência nas escolas é comumente retratada a partir de uma ‘perspectiva positivista’ como uma disciplina na qual existem ‘respostas corretas’ claras e onde os dados levam, de forma incontestável, a conclusões consensuais” (p. 289, tradução nossa). No entanto, se desejamos reproduzir uma visão mais sofisticada de ciência, devemos também aplicar esses conceitos às aulas de física, “[...] se pretendemos mostrar a natureza socialmente construída do conhecimento

científico, devemos dar uma prioridade muito maior do que a atual às práticas discursivas em geral e à argumentação em particular.” (DRIVER; NEWTON; OSBORNE, 2000, p. 297, tradução nossa). Ou seja, se a ciência é de natureza criativa e socialmente integrada, tendo em vista o papel essencial da colaboração e argumentação entre os cientistas, as aulas dos conteúdos científicos, idealmente, também deveriam ser.

Se os alunos devem ter maiores oportunidades para desenvolver essas habilidades, isso exigirá uma mudança radical na forma como as aulas de ciências são estruturadas e conduzidas. Será necessário encontrar maneiras de organizar as aulas de modo que os próprios alunos participem ativamente, refletindo sobre as questões e desenvolvendo seus próprios argumentos. Em outras palavras, os alunos precisam ter uma voz mais ativa nas aulas (DRIVER; NEWTON; OSBORNE, 2000, p. 308, tradução nossa)

Essa defesa também se alinha aos objetivos da pesquisa ao enfatizar o caráter tentativo da ciência e o processo de argumentação entre cientistas sobre teorias concorrentes. Essa dinâmica de avaliação de teorias ocorre também no meio científico, “[...] é com base na força dos argumentos (e nos dados que os sustentam) que os cientistas avaliam reivindicações concorrentes de conhecimento e determinam se devem aceitá-las ou rejeitá-las” (DRIVER; NEWTON; OSBORNE, 2000, p. 297, tradução nossa). Daí o destaque da realização de atividades de debate sobre ciências e sobre aspectos sociocientíficos.

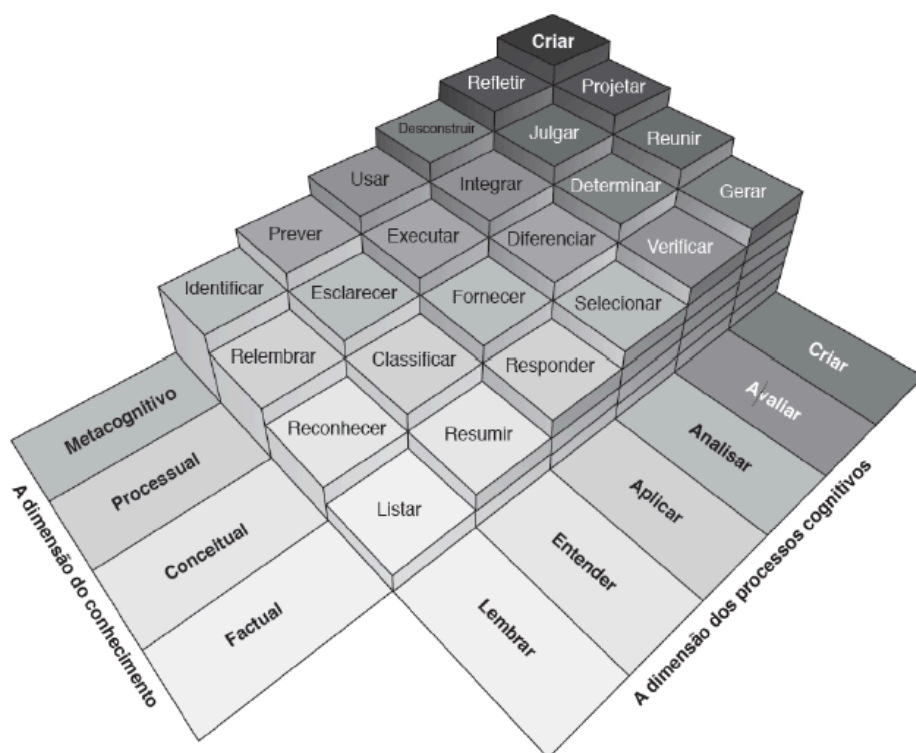
Aliado ao desenvolvimento da capacidade argumentativa, temos também a menção ao exercício do pensamento crítico. “Estratégias de aprendizagem ativa que instigam os estudantes a pensarem criticamente devem ser do tipo de atividade concebida para estimular mentalmente e envolver o pensamento num contexto relevante” (NELSON; CROW, 2014, p. 79, tradução nossa). Nesse estudo de Nelson e Crow (2014), os autores observaram um aprimoramento do pensamento crítico tanto no grupo controle, quanto no grupo com estratégias de aprendizagem ativa, no entanto, destacam fortemente maior envolvimento e engajamento dos estudantes no segundo grupo.

Por fim, o presente trabalho não tem objetivo de medir a melhora da capacidade argumentativa dos estudantes ao final da sequência didática ou o seu engajamento, envolvimento e motivação durante a prática. A defesa desses aspectos se faz baseado na literatura especializada que atesta a possibilidade de desenvolvimento dessas habilidades e competências.

Para o estabelecimento dos resultados de aprendizagem esperados de maneira geral, é necessário compreendê-los dentro das diferentes dimensões do conhecimento e, para isso, temos as taxonomias. “As taxonomias podem ser definidas como instrumentos que servem para classificar e revelar relações entre diferentes dimensões (dos resultados de aprendizagem)” (ELMÔR FILHO *et al*, 2019, p. 163).

Os resultados esperados de aprendizagem, ou objetivos de ensino, podem ser organizados em uma hierarquia de menor para maior complexidade e, de acordo com eles, se estabelece uma sequência didática congruente e progressiva em termos dos resultados desejados. A taxonomia de Bloom (representada na Figura 2) elenca as ações do domínio cognitivo - criar, avaliar, analisar, aplicar, entender, lembrar - e do conhecimento - metacognitivo, processual, conceitual e factual - e organiza-as em termos de complexidade educacional.

Figura 2 - Taxonomia de Bloom revisada por Iowa State University (2012)



Fonte: ELMÔR FILHO *et al* (2019, p. 166)

Para interpretar a imagem, basta localizar a ação planejada a ser executada pelo estudante e interseccionar as dimensões do conhecimento e dos processos cognitivos. Por exemplo, uma atividade que exija do estudante a ação de classificar

se utiliza de uma dimensão conceitual do conhecimento e verifica o seu processo cognitivo de entender.

Sendo assim, a atividade central da sequência didática proposta por este trabalho, júri simulado, envolve ações e habilidades de alto grau de complexidade, como julgar e refletir, estimulando o processo de avaliar dentro das dimensões processuais e metacognitivas. Nas demais aulas da sequência didática, os estudantes também estarão expostos à atividades que irão exercitar as ações de diferenciar, esclarecer, responder, reunir, entre outras, explorando diversas dimensões da aprendizagem.

Assim, visando a preparação operacional de uma atividade no estilo júri simulado, algumas instruções gerais são sugeridas por Lima, Sousa e Sitko (2021, p. 11):

- Estabelecer uma situação-problema em que os alunos, em grupos, irão analisar e avaliar através de argumentos de defesa e acusação. É necessário que o tema seja de natureza controversa, podendo ser uma controvérsia social ou teórico científica, por exemplo, e possa envolver pelo menos dois pontos de vista durante o debate;
- Organizar os grupos e atribuições de cada aluno. É importante definir a quantidade de alunos por grupo, bem como as tarefas e responsabilidades de cada um antes do início da dinâmica;
- Criar um cronograma claro tanto para os momentos de elaboração dos argumentos, quanto para o momento da encenação do júri. Estipular o tempo para a execução de cada etapa auxilia os estudantes a planejarem suas falas e organizarem melhor as suas estratégias;
- Definir os critérios de avaliação para a atividade. Comunicar aos estudantes que eles serão avaliados pela sua clareza, fundamentação dos argumentos, respeito com os colegas, e o que mais julgar necessário.

As especificidades das tarefas de cada grupo, tempo de apresentação, réplica e tréplica dependem da quantidade de estudantes, do tempo disponível, da complexidade do tema e do engajamento dos estudantes nas discussões. Esses detalhes podem ser modificados a fim de melhor contemplar o contexto de aplicação.

De maneira geral, a estratégia de júri simulado visa replicar o cenário conflituoso de um julgamento, de forma que durante a simulação haja dois grupos argumentando com posições opostas e um terceiro grupo compondo a banca ou o júri. Ao serem divididos em grupos e encarregados de defenderem pontos de vista opostos sobre o mesmo tema, os alunos precisam pesquisar, organizar ideias e construir argumentos de forma mais estruturada. Esse método de ensino não apenas desafia os alunos a defenderem suas próprias opiniões, mas também os convida a entenderem, respeitarem e aprenderem com as perspectivas alheias. O professor deve atuar de maneira a orientar os grupos e estabelecer os critérios obrigatórios, mas as tomadas de decisões ficam totalmente sob domínio dos estudantes.

Pensando no contexto deste trabalho em que é proposta a avaliação de teorias no meio científico, o cenário de júri, composto por um juiz, promotor e advogados de acusação e defesa, não parece representativo e adequado, a julgar pela imposição de um “culpado” e um “vencedor”. Por isso, nessa atividade optamos por utilizar a estrutura de debate de um júri simulado, mas com algumas importantes modificações para caracterizá-lo como uma banca de avaliação entre dois grupos de cientistas representantes de diferentes referenciais teóricos. Assim, a premissa de embate do júri foi mantida, mas os critérios de julgamento foram modificados.

A escolha de trocar um “júri” por uma “banca” se originou da reflexão sobre a palavra “veredicto”. No meio jurídico, um veredicto é uma decisão, proferida pelo juiz ou pelo júri, que encerra o processo criminal ou civil. Ainda que caiba recurso para reabrir a investigação, a decisão do juiz/júri é soberana. No entanto, não podemos assumir veredictos na ciência. Nossas explicações são transitórias e aproximações do mundo natural, logo não deve-se qualificar nenhuma teoria científica como verdade absoluta. A fim de estabelecer melhor coerência entre os referenciais, tanto construtivista como epistemológico, essa distinção foi realizada logo nos primeiros momentos da sequência didática sobre a discussão da natureza da luz.

4. Fundamentação Conceitual

Na história do desenvolvimento científico é comum que novas descobertas complementem o entendimento sobre os fenômenos da natureza e modifiquem, ou até substituam, os conceitos pré-definidos e aceitos até o momento. A investigação acerca da natureza da luz estimulou o trabalho de muitos cientistas e, por vezes, apresentou conclusões inesperadas, com reviravoltas dignas de roteiro de filme de ficção.

Atualmente, a definição ontológica da luz aceita pela comunidade científica é de “um ente que em certas condições experimentais exhibe propriedades ondulatórias e, em outras condições experimentais exhibe propriedades corpusculares, mas que nunca exhibe ambas as características ao mesmo tempo” (MARTINS; ROSA, 2014, p. 40). Essa é a dualidade onda-partícula da luz, na qual duas propriedades distintas tornam-se complementares para a descrição da luz como um todo e que assumem o seu papel em diferentes condições.

Porém, como conciliar as características ondulatórias, que implicam em uma propagação tridimensional e não localizada e uma interação por superposição, com as características corpusculares, que implicam em um efeito localizado e de energia definida, em um mesmo conceito? Embora essa contradição de modelos pareça desafiar o senso comum, foi através dela que se conseguiu uma compreensão mais abrangente da realidade.

Assim, pretendemos neste capítulo subsidiar a discussão sobre os modelos de natureza da luz, apresentando aspectos conceituais e filosóficos de suas interpretações. Cientes da grande limitação, não nos propomos a refazer os passos da história da ciência como historiadores. A menção aos aspectos históricos tem o objetivo de sustentar a discussão sobre a evolução destes conceitos, evidenciando as limitações dos modelos propostos e as soluções alcançadas. Veremos, de maneira sucinta, o desenrolar desses conceitos e as diferentes explicações.

4.1 Do corpúsculo de Newton à onda de Huygens

A natureza da luz, desde a Antiguidade, foi tema de especulações científicas e filosóficas. No entanto, foi a partir do Século XVII que surgiram as teorias mais

sistemáticas sobre este conceito. Neste trabalho, partiremos nosso estudo de duas abordagens fundamentais e antagônicas: a teoria corpuscular de Isaac Newton (1643-1727) e a teoria ondulatória de Christiaan Huygens (1629-1695).

É comumente atribuída a Newton a proposta de uma natureza corpuscular e material da luz, derivado do seu trabalho chamado *Óptica* (1704). No entanto, como afirma Moura (2016), “Newton, de fato, adotou uma concepção corpuscular para a luz, mas nunca a defendeu abertamente em seus escritos” (p. 116). Ou seja, ainda que indiretamente, as ideias de Newton cunharam um modelo de estudo para a luz baseada em pequenos corpúsculos.

Neste trabalho, Newton fez suas alegações com base em experimentos e observações, inclusive seus experimentos com luz e prismas, e apresentou uma teoria de heterogeneidade da luz branca e as relações entre luz e os corpos.

Christiaan Huygens apresentou em seu trabalho, *Tratado da luz* (1690), uma concepção radicalmente diferente, baseada na ideia de que a luz se comportava como uma onda. “Huygens buscou descrever e explicar os principais fenômenos luminosos, baseando-se no conceito da luz como pulsos não periódicos propagados pelo éter” (MOURA, 2016, p. 114). Apesar de não ter advogado diretamente sobre uma natureza ondulatória, percebe-se nos seus trabalhos a ideia embrionária por trás disso.

Na publicação do *Tratado da luz*, abordou os fenômenos de propagação retilínea da luz, reflexão, refração, refração no ar, dupla refração e forma dos corpos para produzir a refração e a reflexão (MOURA, 2016). Não vemos referência aos fenômenos considerados hoje como tipicamente ondulatórios, como a interferência e a difração, porém, através das suas bases foi possível dar sequência nestes estudos.

Um dos aspectos que fortaleceu o trabalho de Huygens foi de explicar a dupla refração da luz a partir de um modelo de pulsos que se propagam como ondas. “Sua explicação para esse fenômeno está longe de possuir qualquer referência ou semelhança com a explicação atual, mas, para a época, ela era coerente e conseguia dar suporte à concepção vibracional que Huygens defendia” (MOURA, 2016, p. 115).

A discrepância entre os fundamentos dos dois trabalhos, do contexto de publicação de cada um e da autoridade dos proponentes foram alguns dos fatores que influenciaram e direcionaram as discussões seguintes sobre a natureza da luz.

O embate direto entre os teóricos não ocorreu de forma tão acalorada como comumente é retratado nos materiais didáticos, tampouco as teorias eram comparadas de igual para igual a ponto de existir uma disputa entre elas¹.

O panorama geral de todo esse contexto sugere que não houve uma disputa sistemática e contínua entre Newton e Huygens ou entre a concepção corpuscular e vibracional/ondulatória [...] Um contexto de debate se instalou efetivamente na época seguinte, o século XIX. Contudo, essa polêmica passou longe de ser entre Newton, Huygens e suas teorias sobre luz (MOURA, 2016, p. 128).

De maneira geral, a popularidade de Newton favoreceu com que a sua proposta fosse mais difundida e estudada. Ao longo de todo século XVIII houve um predomínio maior da teoria corpuscular da luz entre os cientistas, principalmente da Grã-Bretanha (OLIVEIRA; SILVA, 2020). No entanto, essa teoria viria a enfrentar algumas dificuldades no fim do século XVIII.

Em fins do século XVIII, contudo, as dificuldades inerentes à teoria corpuscular da luz se tornaram cada vez mais evidentes. A óptica newtoniana e os modelos mecânicos que foram desenvolvidos a partir dela não conseguiam mais explicar os vários fenômenos ópticos conhecidos à época, como, por exemplo, a dupla refração da luz. (OLIVEIRA; SILVA, 2020, p. 199)

As contribuições dos trabalhos de Thomas Young (1773-1829) reativou a discussão sobre a natureza da luz em direção à uma teoria de natureza ondulatória.

4.2 O experimento da dupla fenda de Thomas Young

Thomas Young reacendeu os estudos sobre a natureza ondulatória da luz, mesmo sabendo que enfrentaria duras críticas dos teóricos corpuscularistas. Ciente deste enfrentamento, Young procura fazer referências ao trabalho de Newton, indicando que a sua proposta não buscava atacar diretamente a concepção de Newton (MOURA, 2016, p. 130).

Young, em 1802, apresenta uma versão inicial do seu princípio da interferência e uma discussão em torno do fenômeno de difração, chamado por ele

¹ Para um contexto mais detalhado recomendamos a leitura do artigo: MOURA, Breno Arsioli. Newton versus Huygens: como (não) ocorreu a disputa entre suas teorias para a luz. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, [S. l.], v. 33, n. 1, p. 111–141, 2016.

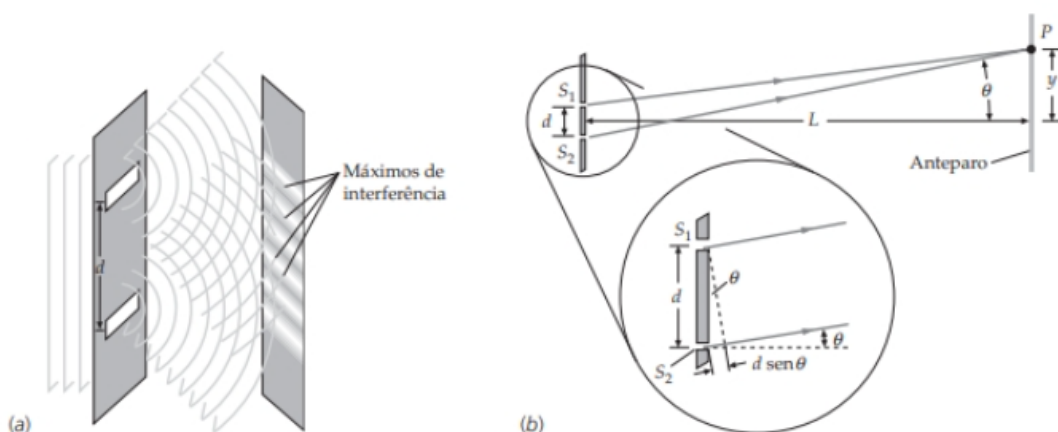
na época de inflexão (OLIVEIRA; SILVA, 2020, p. 200). através de analogias com o som, Young chegou ao seu princípio de interferência como:

Sempre que duas porções da mesma luz atinjam o olho por caminhos diferentes, ambos exatamente ou quase exatamente na mesma direção, a luz torna-se mais intensa quando a diferença de rotas é qualquer múltiplo de um certo comprimento, e menos intensa no estado intermediário das porções em interferência; e este comprimento é diferente para luz de diferentes cores (YOUNG, 1802b, p. 387 *apud* OLIVEIRA; SILVA, 2020, p. 202)

Esse princípio pode ser demonstrado pelo famoso experimento da dupla fenda. “No famoso experimento de Thomas Young de 1801, no qual ele demonstrou que a natureza da luz é ondulatória, dois feixes coerentes são produzidos iluminando duas fendas paralelas muito estreitas usando uma única fonte de luz” (TIPLER; MOSCA, 2009, p. 441).

Para a configuração do experimento, uma fonte de luz é posicionada em frente a um obstáculo com duas pequenas fendas paralelas. A largura das fendas deve ser da ordem de grandeza do comprimento de onda da luz emitida. Ao passar pelas fendas a luz se torna coerente, pois cada fenda atua como uma fonte linear. A luz é então projetada sobre um anteparo e podemos observar o padrão de interferências se formando (veja a Figura 3).

Figura 3 - Configuração do experimento da dupla fenda



Fonte: TIPLER; MOSCA, 2009, p. 442

Para uma distância entre o obstáculo e o anteparo muito maior do que a distância entre as fendas, $L \gg d$, podemos assumir que o caminho óptico das fendas até o anteparo são linhas paralelas. Assim, a diferença de caminho óptico,

ou seja, a diferença da distância percorrida por cada uma das ondas que parte das fendas até um ponto específico no anteparo, é dada por:

$$d \cdot \sin \Theta = m\lambda \quad (1)$$

Desta equação é possível obter que quando a diferença de caminho óptico é igual a um múltiplo inteiro de comprimento de onda, ocorre uma interferência construtiva, quando a diferença de caminho óptico é de um meio múltiplo de comprimento de onda ocorre uma interferência destrutiva (TIPLER; MOSCA, 2009).

Para além da descrição detalhada do experimento e suas operacionalidades, queremos discutir as inferências sobre os resultados observados. A principal evidência para a natureza ondulatória da luz está na formação do padrão de interferência no anteparo. Sob a proposição da luz como pequenos corpúsculos, o resultado esperado seria bem diferente.

Se a emissão da luz fosse na forma de pequenos corpúsculos materiais que se propagam em linha reta, o percurso entre ser emitido e encontrar o anteparo passaria, certamente, por uma ou outra fenda, tendo um caminho bem definido. A região iluminada seria facilmente calculada por probabilidade². No entanto, o que vemos é uma região iluminada no anteparo muito mais “espalhada” e com pontos claros e escuros. Essa evidência não é compatível com o modelo corpuscular de luz e evidencia um comportamento tipicamente ondulatório de interferência. Assim, se faz a defesa do argumento ondulatório.

4.3 A onda eletromagnética de Maxwell

De maneira simplificada, pode-se dizer que o cenário do século XIX estava estabelecido sobre a natureza ondulatória da luz e o empenho científico era de determinar suas propriedades, aprimorar os modelos e melhor descrever os fenômenos ópticos. No entanto, a ideia de natureza ondulatória da luz já não era

² Para mais detalhes sobre o cálculo de probabilidade e os resultados para ambos os modelos, sugerimos consultar: FERREIRA, Danilo Cardoso; SOUZA FILHO, Moacir Pereira de. O experimento virtual da dupla fenda ao nível de ensino médio (Parte I): uma análise clássica do comportamento corpuscular e ondulatório, e o desenvolvimento de um software computacional. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 33, n. 2, p. 697-716, ago. 2016.

mais a mesma proposta por Huygens anos atrás, “houve, entre os Séculos XVII e XIX, uma significativa alteração da Teoria Ondulatória da Luz. Para observadores externos, podem parecer etapas normais de um processo de desenvolvimento, mas uma observação atenta revela suas descontinuidades” (SILVA, 2007, p 156).

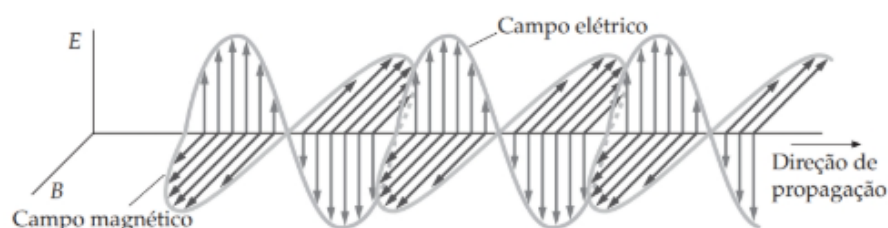
Recorrendo a uma simplificação histórica e a um recorte temporal demasiado grande, iremos explorar o estabelecimento da luz como uma onda eletromagnética através dos estudos de James Clerk Maxwell (1831-1879), que conduzia estudos sobre eletricidade e magnetismo na intenção de unificar os dois campos. Em meados de 1860, analisava as equações fundamentais do eletromagnetismo e, por simetria, percebeu uma desigualdade entre elas pela ausência de um termo. Ao manipular as equações, percebeu que os campos elétricos e magnéticos satisfaziam equações de ondas que se propagam com uma certa velocidade constante, essa velocidade tinha valor muito similar ao valor medido na época para a velocidade da luz.

Ele associou então o fato desses campos se propagarem com a velocidade da luz à interpretação de a luz visível ser um caso particular de onda eletromagnética, isto é, as ondas eletromagnéticas na faixa de frequência capaz de ser percebida pelo olho humano constituíam a luz visível (SILVA, 2007, p. 156)

Dessa forma, Maxwell, “buscando preservar as relações entre as variáveis de campo que permitiam descrever eletricidade magnetismo e luz a partir do mesmo conjunto de equações, insistindo assim em uma *teoria eletromagnética da luz*” (LIMA, 2019, p. 6) inaugurou uma nova fase da teoria da natureza da luz, como uma onda proveniente de oscilações em campos elétricos e magnéticos.

Hoje em dia, representamos a onda eletromagnética como a oscilação proveniente dos campos elétrico e magnético, perpendiculares entre si e perpendiculares à direção de propagação da onda (TIPLER; MOSCA, 2009). A Figura 4 é um exemplar da representação mais comum dessa onda nos livros didáticos.

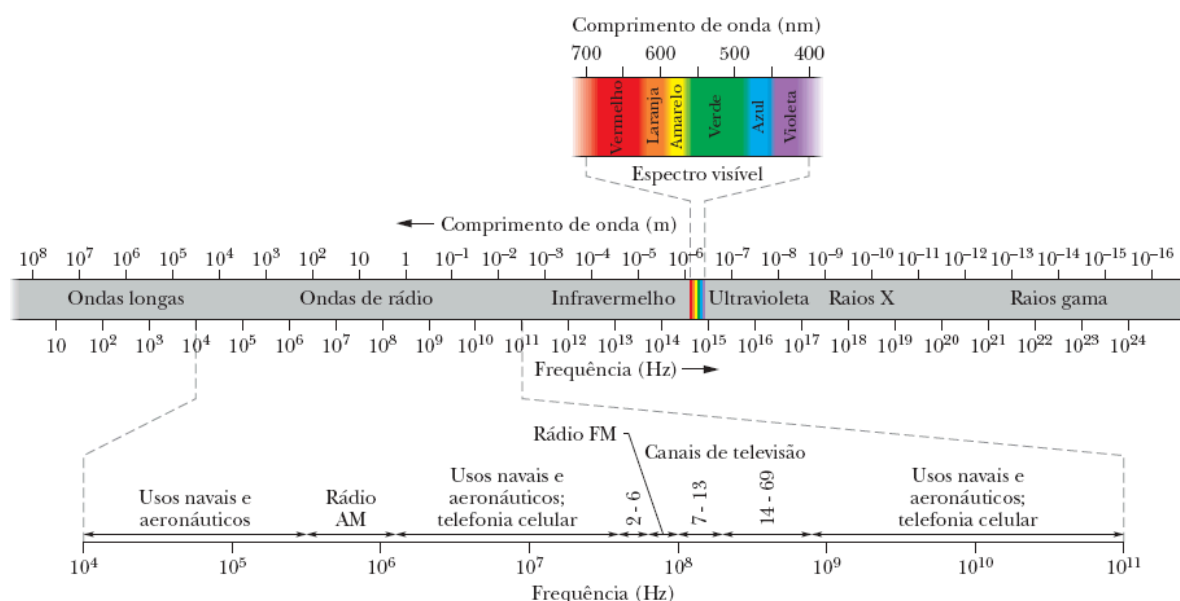
Figura 4 - Representação da onda eletromagnética



Fonte: TIPLER; MOSCA, 2009, p. 341

Utilizamos o espectro eletromagnético para compilar os tipos de ondas eletromagnéticas com diferentes intervalos de frequência (ou comprimento de onda). Abaixo, temos uma imagem da representação do espectro eletromagnético com a gama de frequências conhecidas e seus respectivos nomes (Figura 5).

Figura 5 - O espectro eletromagnético



Fonte: HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2023, p. 2

A consolidação da teoria eletromagnética e sua unificação com a óptica no século XIX, proporcionou diversos avanços tecnológicos e científicos em diversas áreas da sociedade. Assim, consolidou-se como um paradigma científico a tentativa de unificação de diversas teorias com a do eletromagnetismo.

4.4 O problema do corpo negro

A física do final do século XIX estava bem estabelecida e pareciam restar poucos mistérios a serem solucionados. Esse cenário levou Lord Kelvin, em uma palestra na Royal Society em 1900, “[...] sugerir que física havia atingido seu limite e que somente duas nuvens negras ameaçavam o seu horizonte” (MARTINS; ROSA, 2014, p. 13). Essas questões ainda sem solução eram o resultado do experimento de Michelson e Morley, que na tentativa de medir a velocidade da Terra relativa ao éter apenas obtinha o valor absoluto dessa velocidade, e a distribuição de energia de um “corpo negro”. Este segundo problema foi o que deu origem à mecânica quântica e que vamos explorar com mais detalhes.

Corpo negro é uma definição da física para um corpo ou superfície capaz de absorver toda a energia que incide sobre ela. No equilíbrio térmico, dizemos que o fluxo de radiação absorvida por ela é igual ao fluxo de radiação emitida, tornando-a um emissor perfeito. O problema do corpo negro residia em encontrar uma relação entre a temperatura deste corpo que emitia luz e as propriedades da radiação térmica emitida.

Josef Stefan (1835-1893), em 1879, estudando os resultados experimentais disponíveis da emissão de radiação térmica de um fio de platina em duas temperaturas diferentes, chegou a conclusão de que o fluxo de radiação térmica Φ era proporcional à quarta potência da temperatura absoluta T (MARTINS; ROSA, 2014, p. 23). Stefan não se baseou em nenhuma teoria e nem se propôs a explicar o fenômeno, apenas descreveu matematicamente a relação entre as variáveis que observou nos resultados experimentais. Anos depois, em 1884, Ludwig Boltzmann (1844-1906), aplicando a teoria eletromagnética para a radiação em uma cavidade, chegou ao mesmo resultado. Assim, a equação (2) passou a ser conhecida como equação de Stefan-Boltzmann.

$$\phi = \sigma \cdot T^4 \quad (2)$$

Na equação (2), σ é a constante de Stefan-Boltzmann, equivalente a $5,67 \cdot 10^{-8} W m^{-2} K^{-4}$. Essa equação é importante para o desenvolvimento da teoria, pois evidencia que a radiação emitida “[...] é função apenas da temperatura e,

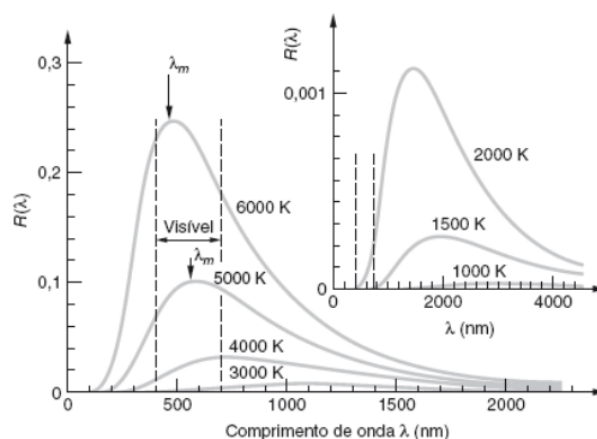
portanto, não depende de outras características do corpo, como a cor ou o material de que é feito” (TIPLER; LLEWELLYN, 2014, p. 78). Ainda assim, faltava descrever a distribuição de energia em função da frequência (ou comprimento de onda) da radiação.

Em 1894, Wilhelm Wien (1864-1928), ao estudar os efeitos da radiação contida em um cilindro com paredes refletoras e um pistão móvel, propôs que para a máxima emissão da radiação, o comprimento de onda dessa radiação deveria ser inversamente proporcional à temperatura. Essa equação é conhecida como a lei do deslocamento de Wien (3). Dessa forma, a distribuição espectral da radiação para qualquer temperatura mantém a mesma forma, porém todos os pontos da curva se deslocam, mantendo a proporcionalidade (MARTINS; ROSA, 2014, p. 24).

$$\lambda_{máx} \propto \frac{1}{T} \quad (3)$$

Assim, quanto maior a temperatura do corpo que emite a radiação, menor é o comprimento de onda de sua máxima emissão, ou maior é a sua frequência. Na imagem abaixo temos as curvas de emissão para diferentes temperaturas e seus respectivos comprimentos de onda da máxima intensidade. A linha tracejada indica a faixa do espectro visível.

Figura 6 - Distribuição espectral $R(\lambda)$ para várias temperaturas



Fonte: TIPLER; LLEWELLYN (2014, p. 78)

Para conciliar a lei do deslocamento e a equação de Stefan-Boltzmann, Wien indicou que a distribuição de densidade de energia no espectro da radiação de corpo negro em função da frequência deveria obedecer a relação

$$du = \alpha v^3 e^{-(\beta v/T)} dv \quad (4)$$

Essa relação foi proposta por Wien, em 1896, valendo-se de uma analogia com a distribuição de velocidades das moléculas de um gás. Um ano depois, Max Planck chegou ao mesmo resultado utilizando as equações de Maxwell do eletromagnetismo para a emissão de ondas por um dipolo elétrico e relacionando-as com equações da termodinâmica (MARTINS; ROSA, 2014, p. 26). No entanto, as medidas experimentais, obtidas a partir de 1899, indicavam que para pequenas frequências o espectro se desviava da lei de Wien-Planck.

Em junho de 1900, em mais uma tentativa de resolver o problema do corpo negro, Lord Rayleigh (1842-1919) propôs uma nova lei para a distribuição de densidade de energia, baseando-se na equipartição de energia para ondas estacionárias em uma cavidade. Para sua solução “basta determinar o número de modos de oscilação do campo eletromagnético no interior da cavidade cujos comprimentos de onda estão no intervalo de λ a $\lambda + d\lambda$ e multiplicar o resultado pela energia média por modo” (TIPLER; LLEWELLYN, 2014, p. 79).

$$u(\lambda) = \frac{8\pi kT}{\lambda^4} \quad (5)$$

Por conta de uma correção numérica na dedução feita por James Jeans (1877-1946) em 1905, a equação (5) é conhecida como lei de Rayleigh-Jeans. Essa equação está de acordo com os resultados experimentais para grandes comprimentos de onda, porém, à medida que o comprimento de onda tende à zero, essa função tende a infinito. Essa discrepância entre o modelo e os resultados experimentais ficou popularmente conhecida como “catástrofe do ultravioleta”.

Max Planck (1858-1947), em 1900, indicou que havia conseguido obter uma função $u(\lambda)$ que estava de acordo com os resultados experimentais. “O cientista encontrara primeiro uma função empírica que reproduzia os dados experimentais e

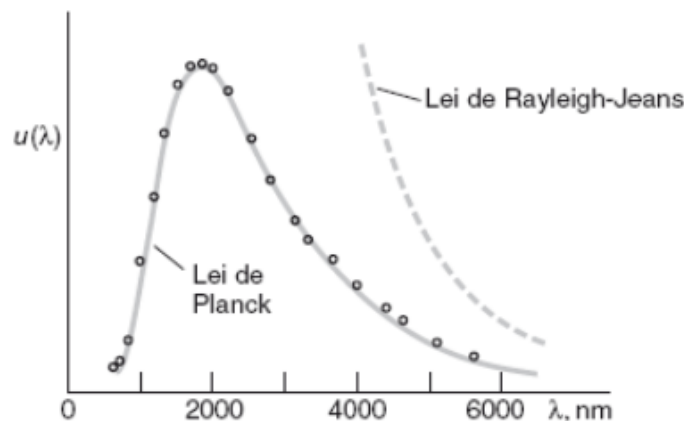
em seguida descobrira uma forma de modificar os cálculos clássicos de modo a obter a função empírica” (TIPLER; LLEWELLYN, 2014, p. 79). O recurso utilizado por Planck foi de supor que a energia não poderia ser considerada contínua.

O modelo de estudo considerava ondas eletromagnéticas ressoando no interior de uma cavidade e, neste caso, a frequência da radiação emitida tem a mesma frequência do oscilador harmônico que a emitiu. A proposta de Planck foi de considerar que os elementos de energia ε não poderiam assumir qualquer valor, era necessário $\varepsilon = h\nu$ proporcional à frequência dos ressoadores. “Aparentemente, Planck esperava que, no final dos cálculos, pudesse fazer os elementos de energia $\varepsilon = h\nu$ tenderem a zero” (MARTINS; ROSA, 2014, p. 33). Essa proposta, realizada em um “ato de desespero” para solucionar o problema, teria consequências inimagináveis para a física.

Assim, a lei de Planck, agora assumia a forma da equação (6), apresentando resultados como demonstrado na Figura 7.

$$u(\lambda) = \frac{8\pi hc\lambda^{-5}}{e^{\frac{hc}{\lambda KT}} - 1} \quad (6)$$

Figura 7 - Comparação da lei de Planck e da lei de Rayleigh-Jeans



Fonte: TIPLER; LLEWELLYN (2014, p. 80)

O que Planck assumiu apenas como um recurso matemático viria a se mostrar como um princípio da matéria. A quantização da energia foi um dos primeiros indícios de uma nova física que iria surgir.

4.5 O efeito fotoelétrico e o “retorno” à teoria corpuscular

É uma das grandes ironias da história da ciência que no famoso experimento, realizado em 1887, em que Hertz produziu e detectou ondas eletromagnéticas, confirmando assim a teoria ondulatória da luz de Maxwell, tenha sido observado também, pela primeira vez, o efeito fotoelétrico, que levou diretamente à descrição da luz em termos de partículas. (TIPLER; LLEWELLYN, 2014, p. 81)

Esse efeito observado, chamado de efeito fotoelétrico, demonstrava que quando uma superfície de metal era iluminada por um raio de luz com comprimento de onda suficientemente pequeno, elétrons eram emitidos pela placa e produziam corrente elétrica. O resultado, no entanto, demonstrava que a ejeção de elétrons pela placa não dependia da intensidade da luz incidente, mas apenas do seu comprimento de onda.

O resultado predito pela física clássica, a qual considera a luz como uma onda eletromagnética, é de que

O campo elétrico associado a essa onda exerce uma força sobre os elétrons do alvo, fazendo com que oscilem com a mesma frequência que a onda. Quando a amplitude das oscilações de um elétron ultrapassa certo valor, o elétron é ejetado da superfície do alvo. Assim, se a intensidade (amplitude) da onda aumenta, os elétrons deveriam ser ejetados com maior energia. Entretanto, não é isso que acontece. Para uma dada frequência, a energia máxima dos elétrons emitidos pelo alvo é sempre a mesma, qualquer que seja a intensidade da luz incidente. (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2023, p. 191)

A resposta para esse dilema está na adoção da ideia de energia quantizada para a luz. Einstein, em 1905, ofereceu uma explicação para esse fenômeno observado. “Segundo Einstein, a quantização da energia usada por Planck no problema do corpo negro era, na verdade, uma *característica universal da luz*. Em vez de estar distribuída uniformemente no espaço no qual se propaga, a luz é constituída por quanta discretos, de energia hf ” (TIPLER; LLEWELLYN, 2014, p. 83)

A teoria proposta é de que quando um dos *quanta*, ou *fótons*, chegava à superfície, toda a sua energia era transferida para o elétron, em pacotes. Pela lei da conservação de energia, temos que a energia cinética máxima do elétron emitido, $E_{c_{máx}}$, é dada pela expressão:

$$Ec_{m\acute{a}x} = hf - \phi \quad (7)$$

em que a energia necessária para remover um elétron da placa ϕ , também conhecida como função trabalho. A equação (7) é conhecida como equação do efeito fotoelétrico.

Assim, quando a energia do fóton, hf , é transferida para um elétron, para que seja emitido essa energia deve ser pelo menos igual a ϕ . Se houver qualquer energia adicional, ela apenas fará com que o elétron seja emitido com maior energia cinética, essa energia adicional não fará com que mais elétrons sejam emitidos.

A comunidade científica tinha grande reticência em encarar as consequências previstas por essa nova abordagem. “O caráter inusitado de suas previsões é que todas se chocavam frontalmente com as previsões das teorias físicas daquele período. Logo, caso ele estivesse certo, o eletromagnetismo de Maxwell era claramente inadequado, como referencial teórico, para dar conta deste fenômeno” (BROCKINGTON, 2005, p. 39).

Na época em que Einstein fez esta previsão, não havia nenhuma comprovação experimental de que a constante de Planck estivesse relacionada ao efeito fotoelétrico. Também não havia provas de que o potencial de corte fosse função da frequência. Experimentos realizados por Millikan em 1914 e 1916 mostraram que a Equação 3-21³ estava correta e o valor de h calculado a partir desses experimentos concordou com o valor obtido por Planck. (TIPLER; LLEWELLYN, 2014, p. 83)

Essas evidências obtidas pelos experimentos de Millikan só viriam a confirmar as previsões de Einstein quase uma década após a publicação de seu trabalho e o efeito Compton, de 1923 também traria fortes evidências para essa teoria.

Esses trabalhos forneceram uma esmagadora evidência da natureza corpuscular da radiação eletromagnética e acenderam as controvérsias acerca da natureza da luz, que desde o final do século XIX pareciam resolvidas. Desta forma, mesmo após a lei do efeito fotoelétrico ter sido aceita, o quantum de luz continuava sendo inaceitável. (BROCKINGTON, 2005, p. 40-41)

Assim, iniciava-se novamente o debate sobre a natureza da luz, as concepções aparentemente inconciliáveis da luz, a ondulatória e a corpuscular,

³ A equação referida na citação como “Equação 3-21”, corresponde a equação (7) deste trabalho.

seriam palco de uma reflexão, agora mais profunda, sobre as características da natureza e as severas implicações que a aceitação de uma, de outra, ou das duas poderia causar. No âmago da “Verdadeira Mecânica Quântica” essa discussão se estende inclusive sobre a essência da realidade como determinística ou probabilística.

4.6 A dualidade onda-partícula

O debate conceitual e filosófico sobre a natureza da luz hoje em dia ainda é um campo aberto a novas proposições. Não há um consenso entre os físicos sobre o que significa tratar a natureza da luz como dual, apesar de se saber ser necessária essa definição.

Diferentes interpretações foram propostas para o fóton para embasar o comportamento dual da luz. Atualmente, a discussão da dualidade da luz gira em torno de sua ontologia, sendo as propriedades da luz já bem estabelecidas. A definição ontológica do conceito de luz é atravessada por diversos aspectos filosóficos, com consequências inclusive sobre a determinação da realidade que foge ao escopo deste trabalho. No entanto, é importante destacar que o tema segue em pauta na comunidade científica. Como um exemplo desta discussão atual, Pessoa Jr. (2003, p. 5-6) apresenta quatro possíveis interpretações básicas da dualidade onda-partícula:

1. Interpretação Ondulatória: Antes da detecção, o objeto quântico propaga-se como onda, mas durante a detecção ele torna-se mais ou menos bem localizado, parecendo uma partícula. Não há mais contradição, porque durante um certo tempo temos uma onda espalhada, e *depois* temos uma partícula (ou melhor, um pacote de onda bem estreito), sem que ambos coexistam simultaneamente.

2. Interpretação Corpuscular: o fóton e o elétron seriam na realidade uma partícula, o que é manifesto quando detectamos. Não existe uma onda associada: o padrão de interferência deve ser explicado a partir da interação da partícula com o anteparo que contém as duas fendas.

3. Interpretações dualistas realistas: O objeto quântico se divide em duas partes: uma partícula com trajetória bem definida (mas desconhecida), e uma onda

associada. A probabilidade da partícula se propagar em uma certa direção depende da amplitude da onda associada, de forma em que regiões onde as ondas se cancelam não há partícula. Não há mais contradição porque o objeto se divide em *duas partes*, uma sendo só partícula, e a outra só onda.

4. Interpretação da complementaridade: neste caso o “fenômeno” em questão é ondulatório, e não corpuscular, pois não podemos inferir a trajetória passada do quantum detectado. O aspecto corpuscular que observamos na detecção se deve ao “postulado quântico” descoberto por Max Planck e que para Bohr é o fundamento da Teoria Quântica. Este postulado afirma que existe uma *descontinuidade essencial* em qualquer processo atômico, como por exemplo na ionização de átomos de prata na chapa fotográfica devido à ação da luz.

Essas são algumas das interpretações possíveis para a natureza da luz. Como evidenciado, não podemos definir que uma é superior a outra. Cada uma, dentro do seu domínio, oferece uma visão sobre a realidade e uma possível interpretação. Ratificando a proposta da sequência didática, não é possível responder, em essência, qual é a verdadeira natureza da luz. Essa é uma pergunta que nós cientistas estaremos sempre buscando nos aproximar da verdade, se é que ela é possível de ser alcançada.

Por fim, pode-se resumir que esse embate conceitual “É como uma luta entre um tigre e um tubarão: cada qual é supremo em seu próprio elemento, mas indefeso no elemento do outro” (J.J.THOMSON, 1925 *apud* MARTINS; ROSA, 2014, p. 21).

5. Metodologia da pesquisa

A abordagem metodológica adotada foi do tipo mista, quali-quantitativa, visando explorar de forma abrangente e detalhada os tópicos em estudo. Através dessa abordagem “os diferentes métodos são combinados, unidos e dialeticamente fundidos em um todo coerente, de modo que os resultados da avaliação sejam mais uma síntese de todos os dados do estudo e menos um relatório de descobertas de cada método separadamente” (GREENE *et al.*, 2001, p. 31, tradução nossa). Dessa forma, é desejado que os instrumentos de coleta de dados permitam relacionar, de maneira mais completa e integrativa, os resultados encontrados nas análises.

Segundo Greene *et al* (2001, p.30, tradução nossa), “O objetivo geral de misturar métodos é proporcionar uma maior redução na incerteza e alcançar uma melhor compreensão dos fenômenos sociais sendo estudados”. Os autores ainda defendem como “melhor compreensão” o fato de que os métodos mistos permitem:

- **maior validade e credibilidade das inferências** ilustrados, por exemplo, pelo design de triangulação de diferentes métodos com vieses compensatórios usados para medir o mesmo fenômeno, minimizando possíveis ameaças à validade do estudo;
- **maior abrangência dos achados** por oferecer múltiplos instrumentos para capturar diferentes perspectivas dos fenômenos sociais estudados;
- **compreensões mais perspicazes** para o caso dos diferentes instrumentos gerarem achados não convergentes, mas que desafiem ou conflitam entre si, exigindo do pesquisador uma habilidade analítica de reconciliação, podendo levar a uma reformulação conceitual dessa relação ou à descoberta de novos conceitos que constituem importantes insights teóricos ou práticos.
- **maior consciência de valor e diversidade** tendo em vista que diferentes métodos permitem o pluralismo de pontos de vista e de concepções dentre os envolvidos na pesquisa.

Sendo assim, a parte referente à análise qualitativa desta abordagem foi utilizada para a compreensão do contexto em que o estudo se desenvolve, explorando as concepções de natureza da ciência espontaneamente manifestadas

pelos estudantes ao longo da sequência didática. Ao mesmo tempo, a parte quantitativa da abordagem permite que seja mensurado, de maneira ampla e de forma a estabelecer uma tendência na amostra, algumas concepções prévias dos participantes sobre NdC e suas diferentes interpretações ao final da sequência didática. Essa análise integrativa permite traçar correlações entre os dados e possíveis contradições entre as respostas no contexto do estudo.

Outro ponto que reforça a utilização desta abordagem é vista em Greene, Caracelli e Graham (1989) ao defender a triangulação de diferentes métodos de análise e coleta de dados

[...] todos os métodos têm vieses e limitações inerentes, portanto, o uso de apenas um método para avaliar um dado fenômeno inevitavelmente resultará em resultados tendenciosos e limitados. No entanto, quando dois ou mais métodos com vieses compensatórios são usados para avaliar um dado fenômeno, e os resultados desses métodos convergem ou corroboram entre si, a validade dos achados da pesquisa é aumentada (p. 256, tradução nossa).

Ou seja, a complementaridade entre os métodos garante maior validade dos resultados e admite uma gama maior de aspectos a serem analisados. Em nossas análises, devido ao grande número de informações coletadas, a descrição dos métodos e interpretação dos dados serão feitas em diferentes seções para permitir maior minúcia e aprofundamento.

Na seção final da análise, pretendemos reunir os apontamentos novamente na intenção de manter a sua coerência integrativa. Uma das sugestões de Greene *et al* (2001) é que “os resultados provisórios de um método são agrupados, resumidos ou transformados e depois cruzados para a outra pista analítica para processamento adicional” (p. 31, tradução nossa). Essa estratégia, chamada de “pistas de cruzamento”, será utilizada ao refinar os dados da parte da análise qualitativa com base nos aspectos relevantes encontrados primeiro na parte da análise quantitativa.

Os instrumentos de coleta de dados utilizados nesta pesquisa - questionários pré e pós, relatórios escritos produzidos e gravação do debate -, bem como os referenciais analíticos são apresentados na sequência.

5.1 Questionário VOSE

O questionário utilizado está baseado no “*Views on Science and Education Questionnaire*” (Questionário sobre Visões de Ciência e Educação), conhecido como VOSE, que foi desenvolvido por Sufen Chen, no ano de 2006. Este questionário tem como objetivo acessar as visões dos participantes sobre Natureza da Ciência e atitudes em relação ao ensino de ciências (Apêndice E).

A autora destaca sete aspectos da natureza da ciência que julga como relevantes para o ensino básico. São eles: (1) O caráter tentativo e provisório da ciência; (2) A natureza da observação e sua relação com a teoria; (3) Existência de diferentes métodos de obtenção de dados e conhecimento; (4) Relação entre hipóteses, leis e teorias; (5) O papel da imaginação e criatividade; (6) O processo de validação do conhecimento científico e (7) A objetividade e subjetividade da ciência (CHEN, 2006, p. 806). Referente ao ensino de ciência, as questões que permaneceram no questionário dizem respeito ao pensamento acerca de (8) ensinar sobre tentatividade e (9) ensinar sobre a metodologia científica. Esses aspectos são baseados em pesquisas anteriores como as de Schwartz e Lederman (2002) e McComas (1996).

A estrutura das questões conta com uma sentença sobre ciência seguida de algumas possibilidades de respostas, cada uma devendo ser classificada de acordo com o nível de concordância. As questões foram traduzidas para o português e algumas (questões 11, 13, 14 e 15 do questionário original) foram excluídas da versão final que utilizamos em nossa investigação, visto que são direcionadas às concepções de educação científica que não correspondem ao foco da pesquisa. Manteve-se as questões originais numeradas de 1 a 10, e a questão 12 do questionário original tornou-se a questão 11.

Para a interpretação dos resultados, Chen categoriza as sentenças de acordo com a concepção de natureza da ciência e a posição filosófica que elas representam. Sentenças que representam as mesmas ideias são agrupadas na mesma categoria (veja a Tabela 1).

Tabela 1 - Temas de natureza da ciência e as sentenças correspondentes adaptadas do VOSE de Chen (2006)

Temas	Posição filosófica	Sentenças
1. O caráter tentativo e provisório da ciência	Revolucionária	4A
	Cumulativa	4B
	Evolucionária	4C
2. Natureza da observação e sua relação com a teoria	Carregada de teoria	8A, 8B e 8E
	Independente da Teoria	8C e 8D
3. Existência de diferentes métodos de obtenção de dados e conhecimento	Método Universal	9A, 9B e 9F
	Diversos métodos	9C, 9D e 9E
4. Relação entre hipóteses, leis e teorias	Descobertas	5A, 5B, 6A e 6B
	Inventadas	5D, 5E, 5F, 6D e 6E
	Ambas	5C e 6C
	Comparação	7A* e 7B*
	Ideias diferentes	7C e 7D
5. O papel da imaginação e criatividade	Sim	3A e 3B
	Não	3C, 3D e 3E
6. O processo de validação do conhecimento científico	Evidência empírica	1A, 1H*
	Paradigma	1C, 1F
	Parcimônia	1D
	Autoridade	1E
	Intuição	1G
7.1 A subjetividade da ciência	Parcimônia	1D
	Autoridade	1E
	Paradigma	1C, 1F, 8A e 8B
	Fatores pessoais	1G, 8A
	Influência sociocultural	2A, 2B

	Imaginação	3A, 3B
	Metodologia	9D
	Neutralidade	1B
7.2 A objetividade da ciência	Sem influência sociocultural	2C, 2D
	Uso da imaginação	3C, 3E
	Fatos em base experimental	5B, 6B, 8D
	Sem influência de crenças pessoais	8C
	Metodologia	8E, 9A, 9B
	Como um todo	1A*, 1H
8. Ensinar sobre tentatividade	Ensinar sobre tentatividade	11A e 11B
	Evitar ensinar sobre tentatividade	11C, 11D e 11E
9. Ensinar sobre a metodologia científica	Ensinar o método científico universal	10A, 10B, 10C, 10D, 10E e 10F
	Encorajar diferentes métodos	10G, 10H e 10I

Fonte: Traduzido e adaptado de Chen (2006, p. 811-813)

Para a análise dos resultados, a autora sugere que as respostas da escala Likert sejam convertidas em valores numéricos, sendo a opção “Discordo Totalmente” igual a “zero” avançando gradualmente até a opção “Concordo Totalmente”, que equivale ao valor “4”. As sentenças sinalizadas com um asterisco devem ser pontuadas ao contrário, pois a sua afirmação é oposta à das outras questões da categoria. Neste caso, a opção “Discordo Totalmente” será igual a 4 e “Concordo Totalmente” igual a zero.

Com as respostas convertidas em valores numéricos e agrupadas em categorias, calculamos a média. Quanto maior for o valor da média de uma categoria, maior é o grau de concordância em relação a ela. Tomaremos o valor 2,00 como referência, pois indica a posição de indiferença na escala. As médias com valores maiores que 2,00 indicam concordância com a sentença e médias com

valores menores que 2,00 indicam uma tendência à discordância dos estudantes para com a afirmação, sendo essa indicação mais acentuada à medida em que tendem para os valores extremos.

Através da análise das médias, podemos obter um panorama sobre as concepções epistemológicas dos estudantes, indicando se determinado aspecto representa uma visão mais ou menos informada da natureza da ciência, utilizando como referência a literatura da área da educação científica (LEDERMAN et al., 2002; ABD-EL-KHALICK et al., 2008; ABD-EL-KHALICK; LEDERMAN, 2023). Devemos aqui reforçar que uma média alta não necessariamente indica uma posição sofisticada, essa avaliação e reflexão será feita no capítulo 7.

Além da análise das médias, os dados receberam um tratamento estatístico através do teste de Wilcoxon pareado para mensurar as diferenças entre as respostas dos questionários aplicados no início da sequência didática e ao final dela. Para isso temos os indicadores de tamanho de efeito e o cálculo do valor-p.

O teste de Wilcoxon pareado é um teste não paramétrico que compara os postos de dois grupos dependentes (o correspondente não paramétrico do teste t pareado). A diferença entre um teste paramétrico e não paramétrico é que a segunda classe não pressupõe que a população amostral siga algum modelo de distribuição particular, como no teste paramétrico se supõe a normalidade dos dados (MORETTIN, 2023, p. 424).

Como a quantidade amostral deste estudo é pequena (apenas 16 respondentes), não é recomendado traçar testes para medir a normalidade dos dados. Segundo Torman, Coster e Riboldi (2012), “Para amostras pequenas recomenda-se que sejam utilizados procedimentos não paramétricos diretamente para a análise, em função da baixa performance dos testes de aderência à normalidade” (p. 227). Dessa forma, o tratamento estatístico para identificar as possíveis mudanças entre as respostas dos questionários pré e pós escolhido foi o teste de Wilcoxon pareado.

Para falar sobre o tamanho de efeito, precisamos, primeiramente, definir a hipótese nula deste estudo. Como queremos identificar se houve alguma alteração nas respostas ao questionário após a atividade e discussão sobre natureza da ciência, a nossa hipótese nula será que “não houve alterações entre os resultados do questionário pré e do questionário pós”. Para este tipo de análise iremos assumir

que a hipótese nula sempre representa um tamanho do efeito igual a zero (COHEN, 1988, p. 10).

Com os valores obtidos pelo teste de Wilcoxon, iremos classificar o tamanho de efeito segundo a indicação de Cohen (1988, p. 532). Para os valores de “r” menores que 0,10 considera-se um tamanho de efeito (TDE) irrisório, ou seja, devemos considerar a hipótese nula. Para valores de “r” entre 0,1 e 0,3 considera-se um tamanho de efeito “pequeno”. Para “r” entre 0,3 e 0,5 considera-se um tamanho de efeito “médio” e para valores de “r” acima de 0,5 o tamanho de efeito é grande.

Outro indicador que utilizaremos é o valor-p. Esse valor indica a significância das alterações dos dados entre as amostras comparadas. Iremos utilizar a escala de significância de Fisher (Figura 8) como referência para a interpretação dos dados.

Figura 8 - Escala de Significância de Fisher

valor-p	0,10	0,05	0,025	0,01	0,005	0,001
Natureza da evidência	marginal	moderada	substancial	forte	muito forte	fortíssima

Fonte: Morettin (2023, p. 372)

Outro aspecto importante para a análise do critério de significância é a escolha do uso da significância unilateral ou bilateral. Essa escolha depende de detalhes de como o fenômeno analisado se manifesta e se foi testado estatisticamente de maneira direcional ou não direcional (COHEN, 1988, p. 2). De acordo com a natureza dos dados do questionário, optamos por uma abordagem não direcional pois as alterações de média podem ser para valores maiores ou menores, logo utilizamos a significância bilateral.

5.2 Produções escritas

Durante a sequência didática, os estudantes foram orientados a produzir um material escrito para apresentar e conduzir a discussão da banca simulada sobre a

natureza da luz. Esses documentos foram produzidos em grupos pelos estudantes, os grupos teóricos em formato de artigo científico, defendendo a própria teoria, e a comissão da banca em formato de edital de pesquisa, estabelecendo os critérios de avaliação.

A comissão da banca foi instruída a elaborar um “EDITAL PARA PROJETOS DE PESQUISA CIENTÍFICA” na intenção de torná-lo público para as equipes antes da realização da banca de avaliação. No edital era necessário esclarecer sobre o propósito do financiamento, os critérios de avaliação da banca, a divulgação e destinação da verba. Veja a seguir um trecho da orientação de escrita deste Edital de Pesquisa (O modelo completo com todas as orientações se encontra no Produto educacional - Apêndice I):

DA SELEÇÃO DOS PROJETOS DE PESQUISA

A comissão deverá elaborar e redigir os critérios que utilizará para qualificar as pesquisas e julgar os resultados. Para essa elaboração é sugerido que reflitam sobre o que é relevante ou essencial em uma pesquisa científica; sobre os impactos sociais e aplicações tecnológicas; sobre o embasamento teórico e solidez dos argumentos; sobre domínio e segurança do grupo e o que mais acreditarem que possa contribuir para o esclarecimento da decisão a ser tomada. Podem incluir também itens desclassificatórios.

O objetivo da elaboração do edital de pesquisa foi de proporcionar reflexão sobre aspectos de NdC, na intenção de provocar a escrita explícita sobre as considerações dos estudantes a respeito das contribuições de pesquisas científicas na sociedade, a importância do investimento em pesquisa, de base ou aplicada, e o que caracteriza uma boa pesquisa.

A avaliação deste material produzido pelo grupo da banca se deu de maneira qualitativa, buscando identificar aspectos relevantes sobre NdC, assim como indicados pelo referencial epistemológico do capítulo 2, e cruzar com os aspectos indicados pela análise quantitativa do questionário.

A tarefa dos grupos teóricos era de elaborar um documento com os argumentos e fundamentação conceitual da teoria a ser defendida. Os estudantes foram orientados a elaborar esse documento no formato de artigo científico, apresentando referencial teórico, atividade experimental, discussão e resultados. O objetivo era de que os estudantes simulassem e incorporassem o comportamento

de pesquisadores para divulgar as suas conclusões através deste artigo. Veja um trecho da orientação de escrita do Artigo Científico (O modelo completo com todas as orientações também se encontra no Produto educacional - Apêndice I):

DISCUSSÃO E RESULTADOS

Apresenta-se a discussão: utilize argumentos convincentes e adequados, demonstração matemática, exemplos, equações, análises estatísticas, padrões/tendências observadas, opiniões e ideias, além da coleção de números coletados e tabulados.

Faça comparações com resultados obtidos por outros pesquisadores, caso existam. Sugira aplicações para o seu trabalho. Retome os objetivos de seu trabalho e discuta a significância dos resultados obtidos. Todo material que for citado deverá constar na lista de referência ao final do texto.

O objetivo dessa escrita foi proporcionar que os estudantes tivessem contato com essa linguagem e que organizassem os seus argumentos de forma mais clara. Além disso, ao instigá-los a escrever sobre as evidências que fortalecem a teoria, se torna explícito a visão dos estudantes sobre o aspecto de “prova” e “verdade” do conhecimento. Dessa maneira, a análise qualitativa dos textos buscou rastrear essas concepções.

De maneira geral, esses documentos permitiram extrair dados referentes aos aspectos conceituais de física e de natureza da ciência, espontaneamente expressados pelos estudantes em suas colocações. As produções escritas foram analisadas em termos dos aspectos da natureza da ciência, conforme fundamentação epistemológica apresentada no capítulo 2, e dos temas propostos por Chen (2006) (apresentado na Tabela 1); e em termos dos aspectos conceituais da física, conforme fundamentação conceitual apresentada no capítulo 4. Esses dados foram essenciais para refinar as interpretações provenientes dos questionários.

As produções escritas serviram como orientação para os estudantes no debate, tanto de maneira a organizar os pontos a serem defendidos, quanto de maneira a explorar os argumentos adversários, pois os textos foram compartilhados entre todos os grupos em um momento anterior ao dia da realização da banca. O edital de pesquisa também contribuiu para a organização e autorregulação dos

estudantes dos grupos teóricos em reforçar os pontos exigidos. O detalhamento das produções dos estudantes será realizado no próximo capítulo.

5.3 A banca simulada

A análise da realização da banca simulada teve como objetivo explorar, através das falas dos estudantes, uma gama enorme de aspectos conceituais de física e de natureza da ciência. O debate sobre a natureza da luz contou com momentos de apresentação de conceitos, questionamentos entre as teorias, avaliação da comissão da banca e tomada de decisão sobre o desfecho da atividade, todos esses momentos conduzidos e atuados, exclusivamente, pelos estudantes.

O debate foi registrado em áudio e vídeo e depois transcrito, de maneira a possibilitar a análise minuciosa das falas dos estudantes. Além disso, os materiais de apoio, utilizados pelos estudantes no momento da banca, e as fichas de avaliação da comissão da banca também foram recolhidos a fim de investigar todas as colocações sobre a atividade.

Esses registros foram analisados em termos dos aspectos da natureza da ciência, conforme fundamentação epistemológica apresentada no capítulo 2, e dos temas propostos por Chen (2006) (apresentado na Tabela 1); e em termos dos aspectos conceituais da física, conforme fundamentação conceitual apresentada no capítulo 4.

Novamente, a análise da atividade de banca simulada se deu de maneira qualitativa e integrativa, buscando identificar novas colocações relevantes, cruzar as falas com as concepções de NdC manifestadas anteriormente e reforçar os pontos de destaque apresentados nos questionários e nas produções escritas.

Por fim, tendo em vista a dinâmica e complexidade que é a pesquisa educacional em um contexto real de sala de aula, as análises provenientes dos dados coletados se deu de forma interativa em que os resultados provisórios dos questionários, instrumentos que geraram os dados quantitativos, uma vez agrupados em categorias, foram enriquecidos com as análises provenientes das produções escritas e do debate, esses últimos instrumentos qualitativos.

6. Aplicação das aulas

A sequência didática envolveu 5 aulas, explorando os temas de epistemologia e natureza da ciência, natureza da luz e culminando na aplicação de uma atividade inspirada em estratégias de júri simulado. Detalharemos essa aplicação a seguir.

6.1 Contexto de aplicação

A aplicação da pesquisa ocorreu em uma turma com 25 alunos, com faixa etária entre 17 e 19 anos, regularmente matriculados no terceiro ano do Ensino Médio do CETEC UCS Escola de Ensino Médio e Técnico, escola privada mantida pela Fundação Universidade de Caxias do Sul (FUCS), em Caxias do Sul - Rio Grande do Sul.

Devido ao contexto educacional, a aplicação do estudo se deu sob a vigência do Novo Ensino Médio, como é popularmente conhecido, que segue as diretrizes da BNCC para o Ensino Médio homologada em 14 de dezembro de 2018. A turma selecionada para a aplicação faz parte de um dos itinerários formativos oferecidos pela escola. Cabe ressaltar que, pela definição, os itinerários formativos são um “Conjunto de situações e atividades educativas que os estudantes podem escolher conforme seu interesse, para aprofundar e ampliar aprendizagens em uma ou mais Áreas de Conhecimento” (ABMES, 2019, p. 1).

Neste contexto, a aplicação do estudo se deu em algumas aulas da disciplina de Astronomia e Astrofísica, ministradas por mim e pertencente ao itinerário formativo oferecido pela escola intitulado como “Matemática e Astronomia”. Este itinerário formativo segue a recomendação do eixo estruturante sobre investigação científica e conta com as disciplinas de Trigonometria, Geometria, Cálculo Diferencial e Integral, e Astronomia e Astrofísica.

A escola dispõe de excelente estrutura e corpo docente, compartilhando o espaço físico com a universidade e podendo usufruir do campus como um todo. Nesta condição extremamente privilegiada, os estudantes puderam experimentar a implementação dos itinerários formativos de forma a aprofundar o conhecimento em

sua área de interesse sem muitos dos obstáculos de infraestrutura que outras realidades e contextos tenham enfrentado. Para os estudantes do terceiro ano do Ensino Médio de 2024 foram ofertados 7 itinerários formativos contemplando as áreas de ciências da natureza e matemática, ciências políticas e sociais, ciências biológicas, design e processos criativos, esportes, economia e um sétimo itinerário contendo aprofundamento em todas as áreas do Ensino Médio. Dessa maneira, os estudantes puderam exercer a escolha de se aprofundar na área mais alinhada às suas aptidões e interesses.

O perfil da turma é de alunos interessados em temas de ciências no geral, que demonstram pretensão de seguir na área científica depois da conclusão do Ensino Médio. Uma grande parcela da turma responde muito bem a desafios e costumam participar de olimpíadas do conhecimento, por exemplo, indicando disposição e vontade de se aprofundar nos conteúdos.

A opção por aplicar a sequência didática em apenas uma turma, logo compreendendo que a amostra de estudo seria pequena e que isso implicaria em limitações para a análise quantitativa, por exemplo, se fez pela defesa de que uma atividade de RPG de simulação, com tamanha participação e influência dos participantes, seria completamente diferente em turmas diferentes. Na verdade, ainda que aplicada novamente com os mesmos integrantes, os resultados da atividade seriam diferentes nas duas ocasiões.

Ainda sobre a escolha da turma de aplicação, a opção pela turma de itinerário formativo e não por uma turma da formação geral básica se deu pela quantidade de alunos nas turmas. As turmas da formação geral básica de terceiro ano desta escola são muito numerosas, com média de 40 alunos por turma, isso tornaria mais difícil a realização da banca simulada, pois muitos estudantes ficariam sem papéis definidos na dinâmica.

Por fim, mesmo reconhecendo a limitação na análise dos dados quantitativos pela pouca quantidade de estudantes na amostra e a possível tendenciosidade dos resultados pelo interesse próximo dos estudantes com o tema de estudo, defende-se a aplicação da pesquisa com a proposta de explorar mais profundamente as concepções de Natureza da Ciência desses estudantes e provocar a reflexão desses aspectos tão importantes nos futuros integrantes da área científica.

6.2 Estrutura das aulas

A sequência didática envolveu 5 encontros de 1 hora e 30 minutos cada, um encontro por semana. De maneira geral, o desenvolvimento das atividades pode ser visto na tabela a seguir:

Tabela 2 - Quadro sintético de desenvolvimento das aulas da sequência didática

Aula	Conteúdo	Desenvolvimento das Atividades
Aula 1	Reflexão Epistemológica: a natureza da ciência	Aplicação do questionário VOSE e reflexão epistemológica sobre o papel da ciência, validade e limitações.
Aula 2	Reflexão conceitual: a natureza dual da Luz.	Explicação conceitual sobre as dificuldades de definir a natureza da luz e divisão dos grupos para a atividade.
Aula 3	Preparação para a banca simulada e ensaio	Desenvolvimento da pesquisa e elaboração da argumentação entre os grupos; pequeno ensaio com os representantes de cada grupo.
Aula 4	Realização da banca simulada	Atividade de banca simulada.
Aula 5	Conclusão da atividade	Momento para depoimentos dos participantes sobre o desenvolvimento da banca, os conhecimentos adquiridos e a dinâmica. Aplicação, novamente, do questionário VOSE.

Fonte: A autora

A metodologia para as aulas do primeiro e segundo encontro foi expositiva e dialogada. Entrelaçando as perguntas propostas com as respostas concedidas se construiu o fio condutor para as discussões de natureza da ciência, no primeiro encontro, e de natureza da luz, no segundo.

Na terceira aula, os estudantes trabalharam em seus grupos para a elaboração dos documentos solicitados, com a mediação e organização da professora. Já na quarta aula o protagonismo foi totalmente dos estudantes. Eles organizam e realizam a simulação da banca de avaliação, argumentam e decidem sobre o desfecho da atividade.

A quinta e última aula teve o objetivo de fechamento da atividade, com momento para depoimentos, relatos e opiniões sobre a dinâmica realizada na aula anterior. A conversa foi conduzida com o objetivo de refletir, mais uma vez, sobre como os estudantes compreendiam que deveria ser a postura dos cientistas frente às teorias concorrentes e se esse comportamento foi observado ao longo da simulação da banca de avaliação.

Os planos de aula com todos os detalhes, objetivos de aprendizagens, recursos e metodologias compõem o produto educacional e estão disponíveis no apêndice I.

6.3 Relato da aplicação e algumas reflexões

A aplicação da sequência didática ocorreu no terceiro trimestre de 2024 na turma de “Astronomia e Astrofísica” do itinerário formativo “Matemática e Astronomia”. O estudo da astronomia escolar é, em grande parte, baseado nos fenômenos que envolvem a luz, desse modo é importante discutir sobre a sua natureza. O relato de cada uma das aulas é apresentado a seguir.

6.3.1 Aula 1 - Reflexão epistemológica: a natureza da ciência

Para iniciar a aplicação da pesquisa, na primeira aula foi realizada a leitura e a entrega aos alunos os termos de consentimento livre e esclarecido, para os maiores de 18 anos (Apêndice C), e os termos de assentimento livre e esclarecido, para os menores de idade (Apêndice B e D), conforme o protocolo de pesquisa. Todos os estudantes devolveram os termos nas aulas seguintes e concordaram com a participação na pesquisa e divulgação de falas e dados.

Na sequência, foi explicado aos estudantes os objetivos desta pesquisa, o seu contexto e cronograma para que todos ficassem cientes do desenvolvimento da atividade e organizassem as tarefas com o seu planejamento pessoal. Alguns pequenos ajustes de datas do cronograma foram feitos para que as atividades da pesquisa não coincidisse com outras avaliações e atividades da escola.

Logo após a apresentação do cronograma, o questionário VOSE foi compartilhado com os estudantes. Para facilitar a análise, o questionário foi

elaborado em versão eletrônica com a plataforma Google Formulários. As instruções de como interpretá-lo e respondê-lo foram feitas, enfatizando que o formulário não teria caráter avaliativo. Como o objetivo do questionário era identificar a posição filosófica do estudante, foi explicado que não haveria resposta certa ou errada. Diferentes respostas apenas classificariam o respondente como mais ou menos adepto de uma posição.

Quando todos os estudantes enviaram as suas respostas, foi conduzida a primeira discussão sobre epistemologia. Essa parte da aula se deu de maneira expositiva dialogada, algumas perguntas norteadoras da discussão foram feitas aos estudantes e, de acordo com as respostas, o conteúdo foi sendo apresentado pela professora e discutido com a turma.

Algumas questões como “A ciência possui um método? Como você descreveria o método científico?” e “É possível provar que uma teoria é verdadeira? E que ela é falsa?” nortearam a discussão epistemológica. A aula foi planejada de maneira a encaminhar à problematização da concepção empírico-indutiva e trazer aspectos do falsificacionismo para enriquecer a visão de ciência dos estudantes.

Os estudantes relataram já ter estudado a filosofia indutivista nas aulas de filosofia e trouxeram muitas contribuições a respeito do que haviam aprendido sobre metodologia científica das aulas sobre projeto de pesquisa para mostras científicas. Esses relatos indicaram uma forte conexão dos estudantes com a lógica indutiva da ciência, citando o passo a passo metodológico de criação de hipóteses, coleta de dados, testes e conclusão.

Para responder a questão “A ciência possui um método? Como você descreveria o método científico?”, o aluno 1 (A1) respondeu:

“No método científico, que você cria uma hipótese, você estuda de acordo com os referenciais teóricos que já existem, que é como uma parede que é construída pouco a pouco, você vai aplicar, todo o conhecimento que você tem e você vai experimentar, vai aplicar o experimento que você tem ali pra ver se prova, pra ver se você vai comprovar. Você não pode ir com expectativa em cima de um experimento que pode ser algo completamente diferente do que você esperava” - A1

A alegação da confiabilidade do conhecimento científico se mostrou fortemente atrelada ao passo a passo do método científico. Dentre as respostas ao questionamento sobre o que torna a ciência um conhecimento diferente de outros tipos de estudo, podemos destacar as seguintes respostas:

“Referências bibliográficas” - A2

“A questão empírica. Você testar a hipótese que você espera com experimentos que você atesta resultados que não necessariamente são o que você esperava. Analisa o resultado e tira as conclusões a partir do resultado” - A1

“A gente nunca tirar uma conclusão sem ter um processo de derivação desse resultado” - A3

A colocação da estudante A2 ocorreu no sentido de justificação do conhecimento, que tem sustentação através de referências bibliográficas. Os estudantes A1 e A3 evidenciaram o processo de indução.

A partir da alegação indutiva feita pelos estudantes, a apresentação formal da teoria empírico-indutiva foi brevemente realizada, destacando alguns pontos cruciais deste modelo. Para fazer uma conexão maior com o conteúdo, foi comentado sobre uma questão do ENEM que havia sido realizada por alguns estudantes no final de semana anterior à aula. A questão da área das humanidades utilizou um trecho do livro *O que é ciência, afinal?* de Alan Chalmers (2023) para comentar sobre a lógica indutiva, mesmo referencial principal da apresentação montada para a aula.

Figura 9 - Questão 82 da prova do ENEM de humanidades 2024

QUESTÃO 82

Bertrand Russell conta a história de um peru que descobriu, em sua primeira manhã na fazenda de perus, que fora alimentado às 9 da manhã. Contudo, ele não tirou conclusões apressadas. Esperou até recolher um grande número de observações do fato de que era alimentado às 9 da manhã e fez essas observações sob uma ampla variedade de circunstâncias, às quartas e quintas-feiras, em dias quentes e dias frios, em dias chuvosos e dias secos. A cada dia acrescentava uma outra proposição de observação à sua lista. Finalmente, sua consciência ficou satisfeita e ele concluiu. “Eu sou alimentado sempre às 9 da manhã”.

CHALMERS, A. *O que é ciência, afinal?*
São Paulo: Brasiliense, 1993 (adaptado).

Qual tipo de raciocínio corresponde ao padrão de pensamento exibido pelo personagem do texto?

- ☐ A Prático, porque recolhe evidências e recomenda ações.
- ☐ B Absoluto, porque busca confirmações e bloqueia refutações.
- ☐ C Indutivo, porque observa eventos particulares e infere leis universais.
- ☐ D Demonstrativo, porque encadeia premissas e extrai conclusões indubitáveis.
- ☐ E Analógico, porque compara diferentes situações e detecta elementos semelhantes.

Fonte: INEP, 2024, p. 29

A maioria dos estudantes reconheceu a questão da prova e comentaram suas impressões e acertos. Para trazer a problematização da lógica empírico-indutiva foi questionado aos estudantes quantas observações são necessárias e sob quantas condições devem ser repetidas até poder chegar a uma conclusão. Para ilustrar a problemática, foi dado o exemplo das Leis de Kepler e da Lei da Gravitação Universal de Newton. Um dos alunos comenta:

“Eu acho que tem que observar um número de vezes, que não é um valor fixo porque depende, mas tem que relacionar todas as propriedades. No caso, por exemplo, tem que fazer a observação pra ver se a massa afeta, se a distância afeta, então tem que ver e comparar coisas com massas diferentes e distâncias. Daí tu testa outras propriedades também, sei lá, tenta testar o máximo de variáveis possíveis de forma a achar uma semelhança pra tipo formar uma regra. Daí como tu determinaria se é uma exceção à regra é se foge ao princípio que tu tá analisando. Na regra da gravitação está analisando massa e distância, então se é por outro motivo tu diz que é uma exceção à regra”- A4

Os estudantes perceberam o problema da indefinição da quantidade de observações e que para definir quais circunstâncias são relevantes é preciso de algum pressuposto teórico. Durante a discussão os estudantes tiveram dificuldades para definir uma resposta que fosse válida para todos os casos.

Outro exemplo que foi utilizado em aula, assim como consta no livro de Alan Chalmers (1993), foi o do estudo de Hertz com as ondas eletromagnéticas e como só foi possível explicar os resultados das suas medições e observações através da aplicação cuidadosa do aporte teórico. Aos poucos os estudantes foram compreendendo a importância da teoria estar aliada às observações.

Para seguir com a apresentação, foi utilizado o exemplo do estudo minucioso das irregularidades da órbita de Mercúrio e como esses resultados não correspondiam ao previsto pela Lei da Gravitação Universal de Newton. Essas aberrações só foram explicadas bem mais tarde através da Teoria da Relatividade Geral de Einstein. Mesmo tendo atestado essa limitação, a lei de Newton continua válida e sendo utilizada no campo científico. Daí partiu a discussão sobre se é possível provar que uma teoria é verdadeira ou falsa.

A discussão seguiu para a exposição da epistemologia falsificacionista e como ela poderia ajudar na avaliação das teorias no júri simulado. Ao final, os foi explicado que a atividade de simulação não tem objetivo de provar que uma das

teorias é falsa ou errada, mas sim que a dinâmica se propõe a testar se as teorias resistem às tentativas de falsificação do outro grupo.

As características do julgamento de um júri e da avaliação da banca foram explicitadas na intenção de encaminhar a conversa para os aspectos práticos da atividade a ser realizada nos próximos encontros. A situação problema a ser encenada foi exposta para os estudantes.

SITUAÇÃO PROBLEMA

Dois grupos universitários disputam por subsídio de pesquisa para investigar a natureza da luz. Um dos grupos argumenta a favor da natureza ondulatória e eletromagnética da luz. O outro grupo argumenta a favor da natureza corpuscular da luz como fóton. A equipe que apresentar argumentos mais convincentes perante a banca, mostrando que sua teoria está melhor fundamentada, ganhará o custeio da pesquisa.

Ao final da aula também foi realizado um sorteio para selecionar os estudantes que iriam fazer parte da comissão da banca. Como havia mais alunos interessados em compor a banca do que o estipulado, e buscando maior imparcialidade de julgamento para não favorecer as amizades na turma, foi realizado um sorteio entre os estudantes.

Além da formação da comissão da banca, os estudantes escolheram os papéis que iriam representar na banca simulada, segundo a disposição a seguir:

- **Presidente da banca (análogo ao papel do juiz):** responsável pelo andamento da banca, faz as intervenções necessárias para que tudo ocorra da forma mais organizada possível. É ele, também, quem declara a decisão da banca.
- **Comissão julgadora (análogo ao júri):** responsáveis por analisar criticamente os fatos expostos e, ao final, dar o veredicto do grupo que melhor apresentou os seus argumentos e ganhou o custeio da pesquisa. A decisão deve ser unânime.
- **Representante principal do grupo (análogo ao advogado de defesa ou promotor):** apresentam a teoria e interesses do grupo por meio de argumentos coerentes, evidências e apresentação de testemunhas.

- **Pesquisadores experimentais (análogo a testemunhas):** apresentam as evidências, fornecem argumentos e provas que podem reforçar o ponto de vista do seu grupo ou desmentir os argumentos do grupo adversário.
- **Pesquisadores de apoio:** Conhecedores da teoria adversária; Acompanham as apresentações em busca de incongruências ou falhas para apontar na apresentação do grupo contrário

6.3.2 Aula 2 - Reflexão conceitual: a natureza dual da luz

Na segunda aula foram abordados os aspectos conceituais da natureza da luz e da história da ciência. O objetivo do encontro foi fornecer subsídios para o debate, focando nos conceitos mais importantes em ambas as teorias e os pontos que a teoria escolhida, dada o recorte histórico, não conseguia explicar.

Inicialmente, foi solicitado que os estudantes citassem conceitos teóricos que haviam aprendido sobre a luz enquanto estudavam sobre os fenômenos ondulatórios, no segundo ano do Ensino Médio, e sobre óptica, no início do terceiro ano do Ensino Médio. Aos poucos, esses conceitos foram sendo conectados com as teorias ondulatórias, de Christiaan Huygens e com a proposta corpuscular de Isaac Newton.

Então o experimento da dupla fenda, proposto inicialmente por Thomas Young, foi apresentado. O foco da explicação foi nas expectativas de observação caso a luz fosse de natureza corpuscular e o que deveríamos esperar caso o seu comportamento fosse ondulatório. Em seguida, a teoria das ondas eletromagnéticas de Maxwell e os aspectos ondulatórios da luz, aparentemente consolidados, foram finalmente apresentados.

O cenário otimista do final do século XIX e as falas sobre o campo conceitual da física impressionou os estudantes, que acharam engraçado a fala de Lord Kelvin na Royal Society em 1900 sobre a aparente conclusão da física (essa fala e seu contexto estão descritos na seção 4.4). O desenrolar do problema do corpo negro e do efeito fotoelétrico foi apresentado, também focando nas expectativas teóricas caso a luz fosse de natureza ondulatória e as consequências de mudanças teóricas que teriam que ser feitas para corresponder ao resultado experimental.

A finalização da segunda aula foi pensada para instigar os estudantes a respeito dos aspectos fundamentais das teorias, mas sem explicar o desfecho

teórico do desenvolvimento do conceito da natureza da luz. Alguns estudantes trouxeram o questionamento representado pela fala da aluna A5

“Por que a gente vai tentar provar só uma teoria se a gente sabe que as duas estão certas?” - A5

A resposta a essa pergunta foi devolvida com o questionamento “como sabemos ou provamos que as duas teorias estão certas?” Também foi instigado aos estudantes que pensassem sobre os aspectos fundamentais que devemos considerar de cada uma das teorias, sendo que as duas apresentam limitações explicitadas nos experimentos. Em que afeta a teoria ondulatória da luz se a energia da onda for quantizada? Como podemos descrever a luz como um fóton e conciliar isso com a teoria das ondas eletromagnéticas? Assim, com essas perguntas em mente, os estudantes se reuniram nos grupos pela primeira vez para começar a discutir as estratégias para o debate.

6.3.3 Aula 3 - Preparação para a banca simulada

Na terceira aula os estudantes foram instruídos a produzirem os textos para fundamentar o debate. Os grupos teóricos desenvolveram um documento em formato de artigo científico e a comissão da banca elaborou um documento em formato de edital de pesquisa, contendo os critérios de avaliação das teorias. Este encontro foi inteiramente dedicado à pesquisa dos grupos e a construção dos argumentos a serem utilizados. Em certo momento da aula, o grupo que defenderia as características ondulatórias da luz questionou se poderia apresentar mais evidências que não estavam na lista obrigatória. A sugestão dos estudantes foi incentivada e eles adicionaram ao texto o efeito doppler, como efeito que corrobora a natureza ondulatória, e o experimento do radiômetro, que aparentemente seria evidência da teoria corpuscular, mas é falho.

Ainda neste encontro, o grupo que defenderia as características corpusculares percebeu que teria dificuldade de defender a sua teoria sozinha, sem se utilizar de características ondulatórias, já que a energia do fóton depende da frequência. Nesse sentido, foi orientado aos estudantes que eles estavam livres para montar a sua estratégia de acordo ao que preferissem, podendo sim defender

o aspecto dual, desde que se utilizassem do conceito de fóton, logo a teoria proposta por Einstein, e abandonassem a teoria corpuscular de Newton.

Ao final do encontro, os estudantes ficaram encarregados de finalizar os textos no formato de artigo em casa e compartilhar com os colegas com um dia de antecedência da banca simulada para que todos pudessem ler antes da aula em que seria realizado o debate. Os três grupos finalizaram os textos no prazo combinado.

6.3.4 Aula 4 - Realização da banca simulada

O quarto encontro foi inteiro dedicado à simulação da banca de avaliação, que ocorreu segundo a ordem predeterminada abaixo composta de 9 momentos:

1. Abertura: O presidente da banca declarou aberta a sessão, realizando uma chamada nominal das partes que compõem a banca. Logo após, foi sorteada a ordem de apresentação dos grupos.

2. Apresentação: Os representantes do primeiro grupo sorteados fizeram a apresentação de todos os aspectos da sua teoria (tempo máximo de 10 minutos).

3. Evidência empírica: A apresentação dos pesquisadores experimentais foi feita na ordem determinada internamente por cada grupo, apresentando as evidências empíricas de sua teoria (tempo máximo de 10 minutos para esta etapa).

4. Intervenção inicial da Banca: O presidente abriu espaço para que a banca fizesse perguntas ao grupo 1 (tempo limitado a 5 minutos de argumentação).

5. Apresentação: O processo se repetiu com o grupo 2, com a apresentação dos representantes, pesquisadores experimentais e intervenção inicial da Banca.

6. Debate entre os grupos: As perguntas dos grupos foram dispostas da seguinte forma: perguntas em 1 minuto; respostas em 2 minutos; réplicas em 1 minuto; tréplicas em 1 minuto. Após uma série de, no máximo, 3 rodadas de confronto direto entre as equipes, a banca voltou a intervir com perguntas para ambos os grupos de debatedores. Novamente, a banca contou com 1 minuto para indagações. Por sua vez, cada grupo que tenha recebido a pergunta dispôs de 2 minutos para a devida resposta e o grupo adversário teve direito a realizar seus comentários no tempo de 1 minuto.

7. Considerações finais: Os representantes principais de cada grupo tiveram 5 minutos para reafirmar suas convicções e argumentos perante a banca.

8. Veredicto: a comissão da banca ponderou sobre as teorias apresentadas para decidir sobre a destinação do custeio da pesquisa. Para a decisão final, foi exigido que os membros da comissão estivessem de acordo com o resultado.

9. Encerramento: O presidente da banca compartilhou a decisão da comissão sobre o destino do custeio da pesquisa para um dos grupos, declarando o grupo vencedor.

Para facilitar a leitura do relato da banca simulada, iremos utilizar as siglas G.O. para representar as ideias ou argumentos associados aos integrantes que pertencem ao grupo que defende a teoria ondulatória, G.F. para representar os integrantes do grupo da teoria da luz como fóton e C.B. para os integrantes da comissão da banca.

A sala foi organizada com os grupos teóricos em lados opostos da sala e a comissão da banca entre eles. O presidente da banca realizou a abertura da sessão e o grupo que defende as características corpusculares da luz foi sorteado para apresentar primeiro a sua teoria.

A aluna A2 (G.F.) começou a sua apresentação enfatizando o comportamento quantizado e de interação localizada da luz. Ainda em sua fala, a estudante destacou algumas aplicações que dependem diretamente da característica corpuscular da luz para funcionar. Em seguida, um trecho de sua fala:

“Primeiramente, a luz apresenta comportamento quantizado, significa que a sua energia é transferida em pacotes discretos, os chamados fótons. Cada fóton carrega uma quantidade específica de energia proporcional à frequência da luz. Essa quantização é uma propriedade fundamental que não pode ser explicada apenas pela teoria ondulatória. Outro aspecto importante é que as partículas de luz interagem com a matéria de maneira localizada, isso significa que ao invés de distribuir a energia de forma contínua sobre uma superfície, a luz transfere a sua energia em pontos específicos caracterizado como comportamento corpuscular” - A2 (G.F.)

Dando sequência à apresentação inicial, a aluna A5 (G.F.) apresenta a fundamentação teórica do efeito fotoelétrico e também algumas aplicações em portas automáticas e painéis solares. Destacamos dessa fala o seguinte trecho:

“A energia do fóton depende da sua frequência, ou seja, quanto maior a frequência, maior é a energia que ele possui. E para que ocorra o efeito fotoelétrico, a energia do mesmo precisa ser igual ou maior que a energia de ligação do elétron com a placa. O fóton deverá ter uma energia mínima para que o elétron absorva e se desprenda do metal. No caso do fóton ter uma energia maior do que a energia de corte, o fotoelétron será desprendido e a diferença de energia corresponde a energia cinética do fóton, ou seja, a energia de movimento dele” - A5 (G.F.)

Os alunos A6, A7 e A8 (G.F.), que assumiam o papel de pesquisadores experimentais do grupo, apresentaram o experimento do efeito fotoelétrico, comentando sobre a sua descoberta, interpretação e operacionalidade. Para demonstrar o efeito, os estudantes apresentaram o vídeo “Efeito fotoelétrico - O Nobel de Einstein” do canal de YouTube “Universo Narrado”, finalizando assim a apresentação do grupo.

Como não houveram considerações da banca sobre a apresentação do primeiro grupo, o grupo teórico da luz como onda começou a sua apresentação. O aluno A9 (G.O.), começou a sua fala citando a problematização da teoria corpuscular de Newton ao não conseguir explicar a dupla refração da luz e como o modelo ondulatório de Christiaan Huygens se mostrou mais eficiente. O estudante também citou o experimento da dupla fenda e o efeito doppler, que seriam abordados posteriormente, finalizando sua fala com aplicações da teoria ondulatória no cotidiano.

“E no dia a dia temos algumas evidências, como o microondas, que ele usa uma placa com o mesmo comprimento de onda dos microondas. Assim faz com que os microondas não saltem pra fora, queimando os nossos olhos. A gente tem também o rádio FM e AM, que são jogadas como ondas para todo mundo até que o rádio que esteja sintonizado com essa frequência ‘pegue’ essa onda. A gente tem também o Wi-Fi, que é feito também como onda” - A19 (G.O.)

A aluna A10 (G.O.) complementa a apresentação do grupo apresentando as características das ondas eletromagnéticas. Utilizando o quadro negro, ela desenha as oscilações perpendiculares do campo elétrico e magnético e explica também as faixas que integram o espectro da radiação eletromagnética. Finaliza a sua parte da apresentação dizendo:

“Mesmo apresentando essas características únicas, que diferenciam não só entre si, mas entre outras ondas, a luz se comporta como uma onda, tendo reflexão, refração, absorção, difração, interferência, espalhamento e polarização, são todas características que também são afetadas pela luz” - A10 (G.O.)

Para iniciar a apresentação dos que assumiam o papel dos pesquisadores experimentais, o estudante A11 (G.O.) apresentou o experimento da dupla fenda. Com um aparato experimental simples, um laser, uma pequena fenda e um anteparo, os estudantes demonstraram a difração da luz e o padrão de interferência se formando no anteparo.

“Quando picos encontram com picos e vales com vales acontece a construtiva, que seria as partes coloridas da imagem. Agora nós vamos fazer o experimento. Para montar ele você precisa de um lugar estável e colocar a luz mais ou menos 20 centímetros da fenda, e para a projeção mais ou menos 1 metro. Quando a gente faz dá pra perceber um ‘laserzinho’. Se vocês se aproximarem, vão conseguir ver as faixas que são formadas. Parece pontilhado” - A11 (G.O.)

O segundo estudante pesquisador experimental a se apresentar, A12 (G.O.), discorreu sobre o modelo atômico de Rutherford-Bohr e a sua alegação de que os elétrons também se movem como ondas. O seu argumento foi de que o modelo que o grupo partícula utilizou para justificar os saltos quânticos do efeito fotoelétrico, na verdade, também usa de alegações ondulatórias. Veja uma parte da sua fala:

“Outra ideia interessante é que como vocês mencionaram o modelo de Rutherford-Bohr sobre os átomos e as camadas de valência para os saltos quânticos, é que o Bohr ele chegou nesses valores de camada de valência e falou que esses valores são fixos e não podem existir camadas fora desses valores que ele chegou. Isso por causa que os elétrons que estão na eletrosfera se movem como ondas e, digamos que aqui é o centro do átomo (faz desenho no quadro), e a determinado raio desse átomo ele vai dar a volta e quando chegar aqui de novo vai acontecer um efeito interessante que ele se movendo em onda, quando ele chegar de volta no ponto de origem, se ele chegar de uma forma em que o começo e fim da onda se aniquilam, no caso uma crista com uma crista ou um vale com outro vale, ela se anularia” - A12 (G.O.)

Para finalizar a apresentação do grupo, a pesquisadora experimental A13 (G.O.), explicou sobre o efeito doppler luminoso e como isso demonstra uma característica ondulatória da luz. Na sua explicação, ela utiliza o efeito doppler sonoro para elucidar a fundamentação ondulatória e finaliza relacionando com o efeito encontrado na área de astronomia.

“Na luz isso acontece basicamente quando ela se comprime e vai ficando azul, que é o blueshift e quando ela vai se afastando ela vai ficando mais voltada para o vermelho, que é o redshift. Isso a gente pode ver basicamente em galáxias e a gente pode perceber que o bigbang acontece por causa que a gente percebe que estrelas e galáxias estão voltadas para o vermelho” - A13 (G.O.)

Ao final da apresentação do grupo teórico ondulatório, o presidente da banca, aluno A4 (C.B.), questionou o grupo a respeito de um conceito apresentado pelo estudante A9 (G.O.). Ele gostaria de entender melhor porque o modelo de Newton não explicava a dupla refração da luz. A pergunta e a resposta do grupo foi a que segue:

“Quando o A9 estava falando na questão do Newton da refração, por que para ele aumentaria a velocidade?” - A4 (C.B)

“Porque considerando como partícula ela aumentaria a energia dela, que nem o som faz quando ele bate na parede e vai indo mais rápido quando o meio é mais intenso (quis dizer denso)” - A9 (G.O.)

Assim, finalizou-se as rodadas de apresentação dos grupos e iniciou a rodada de debates com o grupo da luz como fóton fazendo as perguntas para o grupo ondulatório. Quem formulou a primeira pergunta foi o aluno A3 (G.F.):

“Se a luz é puramente uma onda, como você explica o fato de que no experimento da dupla fenda, o padrão de interferência ainda é observado mesmo quando a intensidade da luz é reduzida a ponto de emitir apenas um fóton por vez? Nesse caso, como uma única partícula de luz pode interferir consigo mesmo e criar um padrão de interferência de ondas se ela não pode se dividir em duas partes sendo uma onda contínua?” - A3 (G.F.)

A aluna A10 (G.O.) se prontificou a responder o questionamento do grupo adversário e alegou que a pergunta utiliza de um pressuposto não condizente com a teoria apresentada pelo grupo. Ela invalida o conceito de fóton e tenta reformular a pergunta original.

“Por mais que a tua pergunta assuma que a gente aceita que um fóton apenas seja lançado, assumindo que a luz é partícula, eu vou voltar para o que o A12 tinha falado dos elétrons [...] A questão é que a pergunta assumia que a gente aceite apenas um fóton de luz seja lançado, então talvez apenas um comprimento de onda seria lançado” - A10 (G.O.)

As falas do grupo que defende a teoria ondulatória foram insuficientes para responder a questão inicial levantada pelo grupo da teoria corpuscular e a aluna A5, do grupo corpuscular, realizou a seguinte réplica:

“Vocês partiram do fato de que enviou só um comprimento de onda. Mas então como isso gera um padrão de interferência, uma vez que precisa de dois comprimentos de onda vindos em situações opostas ou construtivas pra gente ver o efeito dos feixes? Se temos um comprimento de onda só? E também vale ressaltar que a pergunta não foi respondida [...]” - A5 (G.F.)

A tréplica desta questão, realizada pelo aluno A11 (G.O.), somente repetiu detalhes de como o experimento foi feito e não concluiu a discussão. Nessa primeira rodada do debate, pudemos observar que a estratégia do grupo onda foi de desacreditar a pergunta dos adversários, indicando que não aceitam as evidências da existência de fótons.

Na segunda rodada do debate o grupo defensor da teoria ondulatória realizou a seguinte pergunta:

“Se a luz é partícula, vocês estão falando que ela não faz parte do espectro eletromagnético que eu expliquei antes? Ou então, qual evidencia que vocês possuem que comprovam que a luz como raio x e microondas também são equivalentes aos efeitos da onda, sendo do mesmo espectro?” - A10 (G.O.)

Sobre a resposta deste questionamento, é necessário fazer dois apontamentos. O primeiro deles é que a aluna A5 (G.F.), ao iniciar a sua resposta, afirma que esse comportamento corpuscular só se refere à luz visível. No entanto, segue a sua resposta comentando sobre um aspecto muito importante da abordagem de pesquisa escolhida pelo grupo, a de ponderação sobre as duas teorias. Veja a seguir.

“É que na verdade raio x e microondas não são luz, em teoria. Pelo menos não visível, e estamos falando de luz do espectro visível aqui.” - A5 (G.F.)

“A luz apresenta dois parâmetros: a onda e a partícula. Então é importante falar que a gente complementa as ideias. Você faz a pergunta pedindo porque a gente diz que ela é uma partícula e que tudo é uma partícula dentro do espectro. A gente não pode afirmar que a luz é uma partícula, da mesma forma que vocês não podem afirmar que ela é uma onda. Vocês só dizem com base em alguns experimentos, vocês dizem com base em outros, mas no fim nada complementa de que vocês estão certos ou a gente está certo. Então eu não vou te afirmar que a luz é tudo que está no espectro, os raios gama, as microondas são partículas também” - A5 (G.F.)

Nessa resposta, a aluna utilizou uma característica muito importante da discussão sobre natureza da ciência, mas junto com um conceito físico errôneo. A réplica do grupo da teoria ondulatória enfatizou a falta de explicação.

“Eu gostaria de demonstrar, chamar atenção que das duas perguntas, uma não foi respondida e a outra foi respondida com argumento que a gente tá basicamente certo” - A10 (G.O.)

A aluna A5 (G.F.) realiza a tréplica citando, além da resposta aos questionamentos anteriores, mais um ponto importante citado no relatório do grupo adversário, o radiômetro como uma prova falha da teoria corpuscular.

“Então se vocês estão certos, por que a refração é muito mais explicada com a luz sendo uma partícula do que a luz sendo uma onda? E também no fenômeno da reflexão? Outra coisa. A gente olhou no relatório de vocês sobre o radiômetro. O radiômetro vocês usam como algo para debater a nossa teoria, mas em nenhum momento comprova que a luz é uma onda. Não faz nenhum sentido vocês usarem isso. Até uma vez que o radiômetro fala de termodinâmica e térmica, então pra que usar isso para rebater a nossa? Vocês explicaram falando da teoria de vocês e não faz nenhum sentido” - A5 (G.F.)

Neste momento, uma estudante do grupo corpuscular pede para fazer uma intervenção, que é cedida pelo presidente da banca. Nessa intervenção, a aluna A2 (G.F.) comenta qual foi a abordagem estratégica utilizada pelo grupo:

“Só gostaria de ressaltar que o nosso relatório do início ao fim ele abordou a dualidade da luz como onda e como partícula. A gente nunca assumiu que fosse somente uma partícula. Diferente do relatório deles que, do início ao fim, assumiu a luz como uma onda. Principalmente na conclusão. Em nenhum momento a Júlia (Professora) falou que a gente precisava estritamente abordar somente isso, ela falou que sim, a gente poderia abordar das duas maneiras. Claro, cada um frisando o seu lado e a gente abordou no nosso relatório sempre isso e só queria ressaltar que no de vocês não aconteceu” - A2 (G.F.)

Em resposta à provocação do grupo adversário, a aluna A10 (G.O.) também solicita uma intervenção para comentar sobre a estratégia adotada pela equipe:

“Bom, a princípio a Júlia (professora) falou isso só pra vocês, a gente fez de acordo com as instruções que era pra assumir um lado e argumentar um lado. E eu só posso assumir que o fato de que vocês fizeram os dois é que não tem evidência o bastante pra sustentar o de vocês sozinho” - A11 (G.O.)

Após os comentários dos dois grupos, o presidente da banca indica que os estudantes devem seguir com o protocolo e inicia mais uma rodada de debates. Quem pergunta é o integrante do grupo da teoria ondulatória.

“O argumento que diz que a luz não é onda diz que se fosse uma onda a energia seria emitida constantemente e eventualmente os elétrons iam ter energia pra pular. Se a onda vai em pacotes, esses pacotes fariam sentido se eles também se acumulassem e eventualmente saltassem. Então queria que vocês explicassem porque” - A12 (G.O.)

O grupo teórico de luz como fóton defende a ideia de quantização de energia com a seguinte frase:

“É porque mesmo que as partículas vão em pacotes, os elétrons estão na placa e pra saltar da placa eles precisam de uma energia mínima pra isso. E não importa quantos pacotes você vai enviar, aqueles elétrons com aquela luz que a gente tá mandando não vai acontecer. Ele não vai absorver a energia necessária. Então por isso que ele não vai funcionar. Agora se eu mandar outra cor, essa outra cor carrega mais energia em si. E não é a intensidade da luz que a gente tá falando, mas é o quanto a cor carrega de energia pra que a gente possa fazer com que os elétrons da placa saltem” - A5 (G.F.)

A réplica do grupo da defesa da natureza ondulatória insiste que esse argumento não faz sentido e que também refutaria a teoria corpuscular. Assim se encerra a terceira rodada de debates.

A última rodada de perguntas se inicia com a integrante do grupo que defende a luz como onda fazendo a pergunta:

“A refração, apesar de ser explicada por partículas, a luz não é a única coisa que refrata, todas as ondas do espectro eletromagnético, como eu falei na minha introdução, tem essa capacidade de refratar. Não ficou claro o argumento de vocês de porque a refração é um argumento tão forte pra partículas e não para ondas também” - A10 (G.O.)

Na resposta da participante A5, ela se utiliza de dois argumentos. O primeiro deles é de que quando o grupo adversário apresentou a defesa de que a dupla refração da luz não condizia com a teoria corpuscular, isso não ficou bem apresentado e também não fortalece a teoria ondulatória. O segundo argumento está destacado no trecho que segue:

“[...] se a gente falar que a luz é uma partícula, e aí a gente tem fenômenos como reflexão e refração, a gente tem raios incidentes, raios refletidos e raios refratados. Esses raios formam ângulos e trajetórias e isso pode ser calculado por meio de fórmulas geométricas. A partir da ideia de poder calcular por fórmulas geométricas, a gente consegue prever o comportamento e o deslocamento previsível do que vai acontecer. Isso a gente só consegue fazer se a gente tem uma partícula, essa previsão e esse deslocamento, e não quando a gente tem uma onda” - A5 (G.F.)

Para realizar a réplica, dois integrantes do grupo da teoria ondulatória, A9 e A10, argumentam que as provas apresentadas têm a intenção de falsear a teoria corpuscular.

“Primeiramente, eu não argumentei que era uma onda, eu argumentei que não era uma partícula e Newton estava errado quanto a isso. Mas também não significa que Huygens estava 100 % certo que era uma onda. Só não era uma partícula” - A9 (G.O.)

“O radiômetro que a gente colocou no nosso argumento, e foi a mesma razão de a gente falou na introdução dele de Newton, não serve pra provar ondas, mas sim para “desaprovar” partículas, e, como a gente falou no começo, a dualidade que vocês estão argumentando não foi expressa pra gente, a gente tá argumentando do mesmo lado, um lado concreto, um lado absoluto. Então, esse argumento serviu simplesmente pra enfraquecer as evidências de partículas, visto que uma delas, que foi confundida com uma evidência de partículas, na verdade é só evidência de termodinâmica” - A10 (G.O.)

Por fim, a aluna A5 argumenta que essas evidências trazidas pelo outro grupo não servem para o debate se não são explicadas por nenhuma das duas teorias.

“É simplesmente algo da termodinâmica e que não fala nem sobre luz, então não tem nenhum sentido da parte dos painéis girarem, não faz nenhum sentido vocês trazerem isso como algo da teoria de vocês, que vocês estão usando como embasamento pra julgar a gente, quando nem a parte de vocês comprova isso. Então simplesmente o radiômetro não serve pra nenhum de nós dois” - A5 (G.F.)

Finalizadas as rodadas de debate entre os grupos, é o momento da comissão da banca fazer perguntas para esclarecer pontos que ainda restam dúvidas sobre as apresentações dos grupos. O presidente da banca direciona a primeira pergunta para o grupo da luz como fóton.

“Vocês utilizaram argumentos da geometria como prova da onda como partícula. Analogamente, na verdade, você pode dizer como um feixe polarizado, que tem um comportamento geométrico. Como você explica que isso é um comportamento de uma partícula realmente e não um feixe polarizado de luz que incide em um certo ângulo?” - A4 (C.B.)

A resposta do grupo foi dada novamente pela estudante A5. Em seguida, para não interromper a sequência do diálogo, apresentaremos o comentário adicional do presidente da banca e, novamente, a resposta da aluna.

“Tu fala de efeitos e de como comprovar que a luz é um feixe de ondas, mas nada diz que seja um feixe de partículas, uma vez que também ele não apresenta a característica de uma onda, de dispersão e tudo mais, mas se a gente está falando de feixe, são feixes de partículas, que ele vai direto. É por isso que a gente consegue prever exatamente o ângulo que a gente tem ali porque ele acaba por não se espalhar, e não se polarizar no meio, exemplo. Tem só refração. E aí por meio do ângulo certo a gente tem, por causa do feixe, a gente consegue determinar modelos geométricos e acabar determinando o deslocamento prévio da luz” - A5 (G.O.)

“Vocês comentaram que pode ser um feixe de partículas, mas em momento nenhum isso argumenta para que seja um feixe de partículas, que o ônus da prova é de que vocês têm que argumentar como que isso na verdade se encaixa como partícula e não como nenhum dos dois. Vocês deveriam argumentar em favor de vocês. Vocês podem fazer a sua pesquisa e se embasar nos dois, mas vocês estão argumentando em favor de uma das teorias. Vocês podem e devem embasar a pesquisa nas duas teorias, mas vocês deveriam trazer uma argumentação mais pro lado de vocês, defendendo mais o lado de vocês da teoria, mas vocês trouxeram do feixe é que ele pode ser explicado pelas duas e não uma só. Vocês não estão comprovando nada que seja uma partícula” - A4 (C.B.)

“A gente tá buscando custear a nossa pesquisa. E o que tu fala é muito interessante e a gente deve pesquisar sim, mas se a gente está procurando um custeio é porque a gente quer continuar, e a gente pode levar o que você fala em consideração para continuar a nossa pesquisa” - A5 (G.F.)

Novamente, vemos o questionamento em relação ao posicionamento do grupo em não tentar falsear os argumentos do grupo adversário. No entanto, aqui o comentário da banca valida a intenção de pesquisar sobre as duas teorias, mas exige do grupo um posicionamento mais incisivo. Sabiamente, o grupo responde que pode incorporar esses aspectos caso ganhe o custeio da pesquisa.

A pergunta da comissão da banca direcionada ao grupo que defende a luz como onda foi feita pela estudante A14.

“Minha pergunta é mais sobre o retorno pra universidade. Eles trouxeram várias aplicações da luz como partícula, mas vocês não trouxeram as aplicações da luz como onda. Como isso pode ser retornado para a universidade e para a sociedade? Quais são as limitações da luz como sendo partícula que a luz como sendo onda tem aplicabilidade” - A14 (C.B.)

Os integrantes do grupo defensor da teoria ondulatória, A10 e A13 se prontificaram para responder a pergunta da comissão da banca.

“Bom, a teoria de ondas, conforme a gente já apresentou o efeito doppler, ela já é muito utilizada, como a gente apresentou, no redshift e blueshift, como a teoria de ondas ela vem integrada com o espectro eletromagnético, a gente pode falar que o espectro eletromagnético já é uma aplicação da teoria de ondas, ondas de rádio, microondas, raio x, tudo pode ser utilizado como aplicações dessa” - A10 (G.O.)

“Também a gente pode usar nos radares de carros. no radar eles usam o comprimento de onda, quanto mais comprime a onda e eles conseguem fazer o cálculo e descobrem qual é a velocidade” - A13 (G.O.)

Com os membros da comissão da banca satisfeitos com as respostas, o presidente da banca encerra as perguntas e segue para as considerações finais de cada um dos grupos. Novamente, o grupo defensor da teoria corpuscular inicia com a sua fala. Na sequência, apresentamos a fala integral da estudante A2:

“Consonante a tudo que apresentamos aqui dos estudos sobre a natureza corpuscular da luz, e o efeito fotoelétrico e a luminescência como provas dessa teoria, ressaltamos que a nossa pesquisa é de extrema importância para o mundo científico e que possui um grande potencial para ser custeado e continuado. Ademais, parece importante ressaltar que além de estudarmos sobre a concepção da luz como partícula, nosso trabalho pretende entender as teorias que falam sobre a dualidade da luz, como onda e partícula, uma vez que acreditamos que toda forma de estudo é válida e não se torna possível excluir as outras pesquisas feitas por outros pesquisadores, nem pela nossa equipe. Assim, o nosso trabalho busca também a investigação dessa teoria. Por isso, a partir dos nossos estudos afirmamos que a luz é um fóton ou uma partícula. Como observamos nos estudos desenvolvidos por Albert Einstein e na explicação dos fenômenos de refração e reflexão” - A2 (G.F.)

A estudante A10 apresentou as considerações finais do grupo defensor da teoria ondulatória para a comissão da banca. A fala integral da estudante é a que segue:

“Bom, eu vou ressaltar de novo o fato de que a nossa pesquisa foi muito baseada em teoria e na análise das evidências empíricas, que, como a gente fala na introdução, esse processo de revisão não significa que as evidências são fracas, muito pelo contrário, as análises feitas sobre a teoria apenas reforça a concreticidade das ideias e a capacidade de se manter relevante na era moderna da ciência. A teoria da luz através de ondas a gente usa mais pelo lado teórico, mesmo sendo usado em cenários práticos. Não só isso, é a teoria mais popularmente usada. A gente sabe que luz vai gerar ondas, com o Professor do ano passado a gente estudou ondas, é a teoria mais aceita e como a gente já mostrou, mesmo tendo poucas evidências empíricas na análise, as evidências são extremamente fortes do experimento de Thomas Young. A gente provou com o radiômetro que algumas provas do outro lado podem ser “falsamente” entendidas, podem ser falseadas, e obviamente, para concluir a pesquisa, acho importante falar que a importância científica disso aqui é um dos últimos (...inaudível...) para descobrir e as pesquisas de revisar experimentos velhos, até refazer experimentos ou fazer experimentos novos, melhor ainda, é de extrema importância não só pra ciência mas para comunidade em geral” - A10 (G.O.)

Após os comentários de ambos os grupos, a comissão da banca se retirou para realizar as deliberações sobre a apresentação dos grupos e decidir sobre a destinação da verba de pesquisa. Durante a gravação de áudio dos comentários da banca, ficou difícil de identificar os autores das falas e, por conta de muitos comentários desordenados, iremos fazer apenas um relato dos comentários mais frequentes de maneira geral.

O comentário mais recorrente da comissão da banca foi em relação à falta de postura e seriedade de alguns integrantes dos grupos. Os estudantes, de maneira geral, indicaram a falta de participação e aparente falta de interesse de alguns integrantes do grupo que defendia a luz como partícula, pois um integrante do grupo ficou mexendo no celular, saiu da sala e só retornou no final da apresentação. Sobre o grupo que defendia a luz como onda, o comentário foi em relação à falta de respeito entre os integrantes do grupo e a falta de seriedade em alguns momentos.

A comissão da banca destacou também que o grupo que defendia a teoria ondulatória demonstrou maior domínio do conteúdo. Eles valorizaram as explicações no quadro com desenhos e a apresentação do experimento. Sobre o grupo da luz como fóton, o comentário foi de que poucos integrantes pareciam dominar o conteúdo e somente eles respondiam aos questionamentos, o experimento foi apresentado apenas como vídeo e os integrantes não fizeram as conexões com o conteúdo.

Em relação à estratégia adotada pelos grupos, o comentário em relação ao grupo da teoria da luz como fóton é que a comissão achou que foi pouco explicitado o aspecto corpuscular que diferencia a teoria ondulatória da teoria dual. O

argumento parece ter sido entendido, pela comissão da banca, como falta de consistência dos conceitos utilizados pelo grupo na argumentação.

Depois das considerações iniciais da banca, cada integrante presente preencheu uma ficha de avaliação para dar notas ao desempenho dos grupos durante o debate. Nessa ficha de avaliação, elaborada pelos próprios estudantes, os avaliadores deveriam dar notas para uma lista de critérios previamente estabelecidos.

Ao final foi feita a soma da nota dos dois grupos e calculado o conceito final de acordo com o critério estabelecido no edital de pesquisa. De acordo com a pontuação final de cada grupo, a verba poderia ser destinada de três formas:

- 1) GRUPO COM CONCEITO FINAL SUPERIOR (diferença entre conceitos >10%): O proponente com maior conceito final recebe o custeio integral.
- 2) CONCEITOS FINAIS EQUIPARADOS (diferença entre os conceitos <10%): a verba será igualmente repartida entre os proponentes.
- 3) CONCEITOS FINAIS EMBRIONÁRIOS (conceito final de nenhum dos grupos ultrapassa 128 pontos): A banca não realizará aportes.

Como no dia da simulação da banca um dos integrantes da comissão da banca não estava presente, o valor de corte para o que chamaram de “conceitos finais embrionários” passou para 116. Veja na tabela 3 um compilado das avaliações dos oito integrantes da banca. Na tabela, foi sinalizado a quantidade de vezes que o critério foi avaliado com cada uma das notas e também o valor final da nota do grupo para aquela categoria. Em ordem, apresentamos primeiro a avaliação do grupo da teoria corpuscular e, à direita, a avaliação do grupo da teoria ondulatória.

Tabela 3 - Compilação dos resultados das fichas de avaliação da comissão da banca:

Grupo da teoria corpuscular x grupo da teoria ondulatória

Argumentação	1	0,5	0	Total (G.F)		1	0,5	0	Total (G.O.)
Coesão	7	1		7,5		6	2		7
Clareza	2	6		5		6	2		7
Teoria	8			8		8			8
Respostas	2	5	1	4,5		3	5		5,5
Questionamentos	5	2	1	6		8			8

Fechamento	6	2		7		8			8
Experimento	1	0,5	0	Total		1	0,5	0	Total
Execução		5	3	2,5		5	3		6,5
Explicações	5	3		6,5		8			8
Argumento de exclusividade	2	4	2	4		3	5		5,5
Anteparo teórico	8			8		8			8
Aplicabilidade	1	0,5	0	Total		1	0,5	0	Total
Retorno de investimento	6	2		7		7	1		7,5
Continuidade da pesquisa	6	1	1	6,5		6	2		7
Relevância acadêmica	6	2		7		8			8
Apresentação	1	0,5	0	Total		1	0,5	0	Total
Postura		8		4			5	2	2,5
Vocabulário apropriado	5	3		6,5		6	2		7
Organização	1	5	2	3,5		7		1	7
Clareza	4	3	1	5,5		6	2		7
Respeito		5	3	2,5			8		4

Fonte: A autora

Ao final da avaliação da comissão da banca, o grupo que defendeu a teoria ondulatória teve 121,5 pontos e o grupo que defendeu a luz como fóton teve 101,5 pontos. Sendo assim, o grupo da teoria ondulatória ganhou o custeio integral da pesquisa.

Para declarar a decisão da banca, o presidente da banca teve a seguinte fala:

“Basicamente, a diferença de nota entre os dois grupos foi de 19%, então um dos grupos vai levar o financiamento integral, um grupo ficou com 101,5 como conceito final e o outro com 121,5, e o grupo que levou o financiamento foi o grupo da onda. Das considerações finais que a gente anotou aqui, como destaque, temos que o grupo da partícula teve um integrante que saiu da sala sem avisar e o grupo da onda teve um certo desrespeito dos próprios integrantes, mas vocês ganharam” - A4 (C.B.)

Assim, com essa fala, se encerrou a simulação de banca de avaliação e também a aula 4.

6.3.5 Aula 5 - Encerramento da atividade

O quinto e último encontro foi realizado com uma semana de intervalo do quarto encontro. No dia em que deveria ter acontecido o fechamento da atividade, todos os estudantes do terceiro ano do Ensino Médio da escola tiveram uma atividade referente à formatura e a aula teve que ser reagendada. Por este motivo, com o adiamento do último encontro, a quinta aula foi realizada na semana após o fechamento das notas do último trimestre e poucos estudantes compareceram.

Ciente desta limitação, a solução tomada foi de transformar o diálogo que encerraria a sequência didática em um espaço para depoimentos no questionário final, realizado de forma remota por alguns.

Para os poucos alunos presentes foi realizada uma confraternização em uma pequena roda de conversa. Os depoimentos dados pelos estudantes serão analisados no capítulo 7. Ao final do encontro, os estudantes responderam ao questionário VOSE novamente, com a adição das seguintes perguntas discursivas:

- Me conte brevemente o que você aprendeu com essa atividade em relação aos conceitos físicos envolvidos. Cite alguma curiosidade que lhe chamou atenção, alguma reflexão e ou surpresa que teve ao estudar sobre a luz.
- O que você aprendeu sobre teorias concorrentes na ciência e sobre a postura dos cientistas diante de duas possíveis teorias divergentes que tentam explicar o mesmo aspecto da natureza?
- Me conte brevemente o que você achou da atividade desenvolvida. Comente o que achar relevante sobre a organização, a dinâmica de argumentação de ideias e os aprendizados durante as atividades.

Além destas questões, foi incluída uma quarta questão objetiva de múltipla escolha. A questão e as possibilidades de resposta estão dispostas abaixo:

- Selecione abaixo a(as) habilidade(s) que você acredita que foram necessárias ou que foram desenvolvidas/aprimoradas durante as atividades
 - Argumentação e retórica
 - Escrita científica
 - Respeito aos demais
 - Análise crítica dos dados
 - Pesquisa e coleta de dados
 - Resolução de problemas
 - Liderança e coordenação
 - Planejamento de apresentação e gerenciamento de tempo
 - Elaboração de teses e estratégias de defesa
 - Síntese de informações complexas

A análise dos dados coletados durante a aplicação da sequência didática e das respostas abertas do questionário pós serão apresentadas no próximo capítulo.

7. Análise dos Resultados

O tratamento dos dados foi feito de maneira quali-quantitativa, sendo a parte quantitativa referente às respostas objetivas dos questionários (pré e pós), e a parte qualitativa relativa à análise das respostas discursivas do questionário, da produção textual dos estudantes e das discussões da banca simulada. Começaremos analisando as respostas referentes aos questionários.

7.1 Análise das respostas do questionário

No questionário realizado pré atividade obtivemos 22 respostas, mas devido a ausência de alguns estudantes no último dia da dinâmica, registramos apenas 17 respostas no questionário pós intervenção. Ao cruzar os dados, constatamos que somente 16 participantes responderam ambos questionários e, portanto, somente esses foram considerados para a análise quantitativa.

Iremos analisar cada um dos sete aspectos da natureza da ciência destacados por Chen (2006, p. 806).

(1) O caráter tentativo e provisório da ciência

Esse tópico explora as possíveis visões sobre o progresso da ciência, evidenciando como as teorias evoluem ou são substituídas. Para esta categoria, a autora do questionário selecionou a alternativa 4A⁴ como representante da posição revolucionária da ciência, que exemplifica a substituição das teorias - relativa a uma posição kuhniana. A alternativa 4B⁵ representa a posição de que o conhecimento avança pelo acúmulo de saberes, com a preservação da teoria original e a alternativa 4C⁶ evidencia o caráter evolucionário do conhecimento - remetendo a uma posição popperiana.

⁴4A. A pesquisa científica irá encarar as mudanças revolucionárias e a teoria antiga será substituída.

⁵4B. Avanços científicos não podem ser feitos em um curto tempo. É através de um processo cumulativo, logo a teoria antiga é preservada.

⁶4C. Com o acúmulo de dados de pesquisa e informações, a teoria irá evoluir cada vez mais acurada e completa, não será reprovada.

Analisando as respostas referente a essas alternativas, podemos perceber uma compreensão um tanto sofisticada dos estudantes mesmo antes da intervenção, reconhecendo as três interpretações do progresso científico. Verificamos isso ao encontrar as médias todas acima de 2,0 (vide Tabela 3), indicando uma posição de concordância com as sentenças, estando eles mais adeptos à posição evolucionária, seguido da posição revolucionária e de maneira menos expressiva, praticamente indiferente, para a posição cumulativa.

Tabela 4 - Tentatividade: média das respostas

Estatísticas de amostras emparelhadas

		Média	N	Desvio Padrão	Erro de média padrão
Revolucionário	Pré teste	2,6875	16	1,01448	,25362
	Pós teste	2,5000	16	1,15470	,28868
Cumulativo	Pré teste	2,0625	16	1,12361	,28090
	Pós teste	2,2500	16	1,12546	,28137
Evolucionário	Pré teste	2,5625	16	1,09354	,27339
	Pós teste	3,1875	16	,83417	,20854

Fonte: A autora

Avaliando o resultado do teste de Wilcoxon (Tabela 5), podemos perceber que o aspecto evolucionário da ciência apresentou um tamanho de efeito médio ($r = 0,469$), ao aumentar o grau de concordância com a sentença, e teve uma alteração significativa entre marginal e moderada ($p = 0,061$). Tanto os aspectos revolucionário ($r = 0,13$) e cumulativo ($r = 0,191$) tiveram um tamanho de efeito pequeno, com pouca alteração entre as respostas pré e pós.

Tabela 5 - Tentatividade: resultado do teste de Wilcoxon

	Significância (2 extremidades)	r	TDE
Revolucionário	0,603	0,13	Pequeno
Cumulativo	0,446	0,191	Pequeno
Evolucionário	0,061	0,469	Médio

Fonte: A autora

Para a interpretação do progresso científico, a literatura especializada enfatiza a importância de superar a concepção indutivista, que se relaciona com o caráter cumulativo do conhecimento. Referentes às demais interpretações contemporâneas, não há um consenso em relação à superioridade de uma ou outra linha epistemológica. “Existem muitas divergências e controvérsias entre os próprios filósofos da ciência, de tal forma que não é possível falar em uma visão ‘correta’ da natureza da ciência” (MOREIRA; MASSONI, 2006, p. 54). Portanto, consideraremos ambos os aspectos, revolucionário e evolucionário, como aspectos de uma visão sofisticada da natureza da ciência.

Através dos dados, percebemos que os estudantes reconheceram essas três interpretações do progresso científico como possibilidades não excludentes entre si, contemplando as complexas relações que são necessárias até uma teoria ser consolidada no campo científico ou até a sua refutação por completo. A sentença referente ao caráter cumulativo, quando isolada, poderia representar uma visão ingênua de ciência, mas como possui média um pouco abaixo das demais categorias, podemos considerar que foi compreendida como um aspecto complementar.

Avaliando intimamente a sentença 4C podemos perceber que o tema central da sequência didática, teorias concorrentes, os fez avaliar a evolução do conhecimento, conseguindo reconhecer a parcialidade da teoria defendida por cada um dos grupos como fatores integrantes de uma teoria mais completa.

Por fim, verifica-se que os estudantes já possuíam uma compreensão polida sobre o progresso da ciência (com média de concordância com o caráter revolucionário e evolucionário da ciência, respectivamente, $m = 2,6875$ e $m = 2,5625$) e, com o decorrer das aulas, passaram a considerar mais o aspecto evolucionário da ciência (média de concordância final de $m = 3,1875$).

(2) A natureza da observação e sua relação com a teoria

É desejado que os estudantes percebam como a obtenção dos dados na ciência também é afetada pelas expectativas do cientista juntamente com o corpo

teórico prévio (CHEN, 2006, p. 806). Dentro desta categoria, as alternativas 8A⁷, 8B⁸ e 8E⁹ representam a concepção de que a observação está carregada de teoria e as alternativas 8C¹⁰ e 8D¹¹ representam a ideia de que a observação e a teoria devem ser independentes.

Analisando as respostas, podemos constatar que a posição que representa que a observação está carregada de teoria já apresentava média ligeiramente acima de 2,0 e após a intervenção se manteve (vide Tabela 6), indicando que a ideia preponderante está entre a indiferença e a concordância com essas sentenças. No entanto, quando analisamos a posição diretamente oposta não encontramos o contraste esperado. A média das respostas anteriores à aplicação das atividades, que encontrava-se ligeiramente mais baixa ($m = 1,6250$), sofreu alteração e a posição final também ficou entre a indiferença e a concordância com as sentenças ($m = 2,1875$).

Tabela 6 - Natureza da observação: média das respostas

Estatísticas de amostras emparelhadas					
		Média	N	Desvio Padrão	Erro de média padrão
Carregada de Teoria	Pré teste	2,1667	48	1,19098	,17190
	Pós teste	2,4167	48	1,02798	,14838
Independente da Teoria	Pré teste	1,6250	32	1,12880	,19955
	Pós teste	2,1875	32	,99798	,17642

Fonte: A autora

De acordo com o teste de Wilcoxon (Tabela 7), para a categoria que representa que a observação é carregada de teoria o tamanho de efeito foi considerado pequeno ($r = 0,202$). Já para a categoria que representa que a observação deve ser independente da teoria apresentou um tamanho de efeito

⁷8A. As observações são diferentes, porque crenças diferentes levam a expectativas diferentes que influenciam a observação.

⁸8B. As observações serão as mesmas, porque os cientistas treinados na mesma área têm ideias semelhantes.

⁹8E. As observações serão as mesmas. Embora a subjetividade não possa ser completamente evitada na observação, os cientistas usam diferentes métodos para verificar os resultados e melhorar a objetividade.

¹⁰8C. As observações serão as mesmas, porque, através do treinamento científico, os cientistas podem abandonar valores pessoais para realizar observações objetivas.

¹¹8D. As observações são as mesmas, porque observações são exatamente o que vemos e nada mais. Fatos são fatos. Interpretações podem ser diferentes de uma pessoa para outra, mas as observações devem ser as mesmas.

médio ($r = 0,447$) com indicação de significância forte ($p = 0,011$) ao sair de um posicionamento levemente discordante para uma posição entre a indiferença e a concordância.

Tabela 7 - Natureza da observação: resultado do teste de Wilcoxon

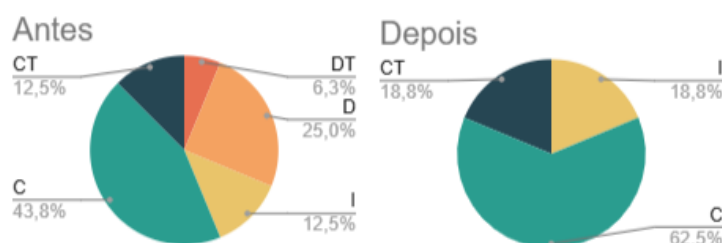
	Significância (2 extremidades)	r	TDE
Carregada de Teoria	0,161	0,202	Pequeno
Independente da Teoria	0,011	0,447	Médio

Fonte: A autora

Esse resultado, aparentemente dissonante, pode ser justificado ao analisar mais intimamente as sentenças, em especial a alternativa 8E. A alternativa versa sobre a impossibilidade de ignorar as crenças teóricas que os cientistas trazem consigo, mas no contexto de justificação das teorias deve-se utilizar de métodos para reduzir os efeitos dessa predileção do cientista.

A discordância com essa sentença, que antes da intervenção didática era de 31,3% (DT e D na Figura 10), foi zero no questionário pós. Rodando o teste de Wilcoxon para as respostas dessa alternativa unicamente, separada do grupo, obtivemos um tamanho de efeito grande ($r = 0,659$) e uma forte indicação de significância ($p = 0,008$), enfatizando que a mudança no posicionamento dos estudantes em relação a esta questão em específico foi de fato significativa.

Figura 10 - Respostas da questão 8 alternativa E



Fonte: A autora

As demais sentenças dessa categoria, quando analisadas individualmente, apresentam médias semelhantes entre si, sem grandes alterações entre as

posições assumidas nos dois momentos, não indicando outros pontos relevantes para a análise.

Para concluir a análise, podemos afirmar que os estudantes possuem uma visão informada sobre as influências da teoria na observação dos fatos, como um aspecto individual do cientista que impregna na coleta de dados. Já como comunidade científica, a atitude deve ser de minimizar esse aspecto subjetivo, buscando a triangulação de dados, revisão por pares e outros métodos, compreendendo a dimensão social da ciência (LEDERMAN *et al*, 2002).

(3) Existência de diferentes métodos de obtenção de dados e conhecimento

Esse tópico tem como objetivo explorar a visão dos estudantes acerca da metodologia da ciência. A intenção é de que os estudantes consigam compreender que há uma grande diversidade metodológica para diferentes áreas da ciência, superando a ideia de um único método algorítmico e infalível (CHEN, 2006, p. 806). Para representar esses pensamentos as alternativas 9A¹², 9B¹³ e 9F¹⁴ verificam as concepções sobre um método único e universal, e as sentenças 9C¹⁵, 9D¹⁶ e 9E¹⁷ tem por objetivo compreender a percepção sobre diferentes métodos na ciência.

Podemos perceber, avaliando a média das respostas (Tabela 8), que os estudantes estão mais suscetíveis à visão do método científico atrelado ao método único e universal e mesmo após a intervenção didática essa concepção se manteve. Os estudantes demonstraram uma tendência de discordância com a categoria que representa a utilização de diversos métodos ($m = 1,5417$). Não houve nenhuma mudança significativa nas respostas deste tópico comparando os resultados do questionário pré e pós - portanto o teste de Wilcoxon não é apresentado (tamanho de efeito irrisório em ambas as categorias).

¹²9A. O método científico garante resultados válidos, claros, lógicos e precisos. Portanto, a maioria dos cientistas segue o método universal na pesquisa.

¹³9B. A maioria dos cientistas usa o método científico porque é um procedimento lógico.

¹⁴9F. Não importa como os resultados são obtidos, os cientistas usam o método científico para verificá-los.

¹⁵9C. O método científico é útil na maioria dos casos, mas não garante resultados; portanto, os cientistas inventam novos métodos.

¹⁶9D. Não existe o chamado método científico. Os cientistas usam qualquer método para obter resultados.

¹⁷9E. Não há um método científico fixo; o conhecimento científico pode ser descoberto acidentalmente.

Tabela 8 - Método científico: média das respostas

Estatísticas de amostras emparelhadas

		Média	N	Desvio Padrão	Erro de média padrão
Método Único	Pré teste	2,7708	48	1,07663	,15540
	Pós teste	2,7917	48	1,07106	,15459
Diversos Métodos	Pré teste	1,5417	48	1,20210	,17351
	Pós teste	1,5417	48	1,07106	,15459

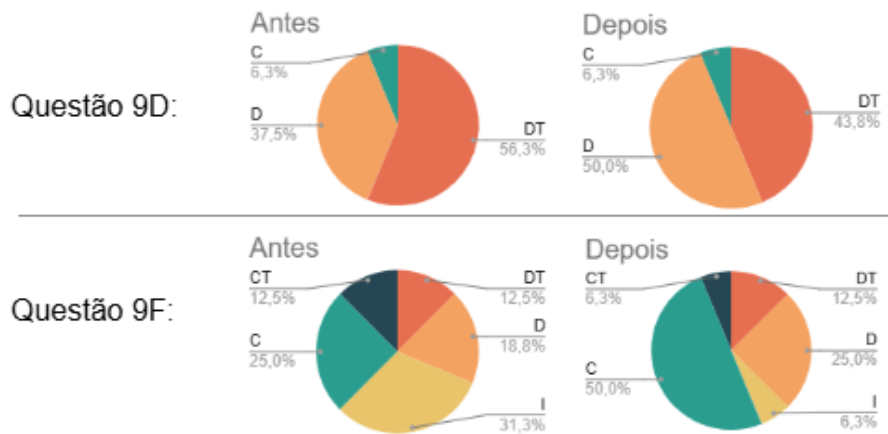
Fonte: A autora

Para tentar exemplificar a visão dos estudantes acerca do tema, podemos avaliar isoladamente a sentença 9D. Essa alternativa é enfática ao dizer que “não existe o chamado método científico” e que os cientistas usam “qualquer método” para obter os seus resultados. Essa sentença foi fortemente desaprovada, obtendo 56,3% na alternativa Discordo Totalmente no questionário pré e 43,8% no questionário pós (vide Figura 11).

A recusa por completo àquele método científico, que os estudantes conheceram e aprenderam a replicar nos projetos de feiras científicas, substituído por uma aparente ausência de critério metodológico, causa estranheza e grande resistência. Esse posicionamento extremo não foi bem aceito.

No entanto, podemos verificar na análise da sentença 9F que os estudantes estão abertos a aceitar diferentes métodos para a concepção do conhecimento, assim como posto no seu enunciado “não importa como os dados são obtidos”, mas a ideia clássica do método científico universal ainda é utilizada no processo de verificação do conhecimento. O índice de aceitação dessa sentença era de 37,5% no pré teste e, depois da intervenção didática, aumentou para 56,3% (considerando CT e C em ambos casos na Figura 11).

Figura 11 - Comparação das respostas 9D e 9F



Fonte: A autora

Mesmo depois da sequência didática, ainda encontramos uma forte aceitação ao método científico universal. Assim como assinalado em estudos similares, essa é uma visão comum e resistente entre estudantes e professores de ciência, também comumente propagada em livros didáticos. Burton e Baynard (2013), após conduzirem um estudo sobre as visões sobre o empreendimento científico, notaram que “a ideia de que um experimento é feito repetidamente pode ser vista em várias declarações nos mapas dos professores e dos alunos, refletindo a maneira como a ciência é retratada na maioria dos livros didáticos do ensino médio” (p. 2829, tradução nossa). Mesmo após os estudantes passarem por uma intervenção didática sobre natureza da ciência, essa visão continuou presente.

Para superar essa visão de método universal e algorítmico seria necessário incluir uma discussão mais profunda na sequência didática, com mais exemplos da história da física demonstrando a utilização de métodos diferentes.

(4) Relação entre hipóteses, leis e teorias

Para discutir as relações entre hipóteses, leis e teorias, Chen subdividiu este tópico em duas partes. A primeira analisa a concepção epistemológica dessas relações e a segunda investiga a distinção conceitual entre lei e teoria. Para a

análise epistemológica, a autora selecionou as sentenças 5A¹⁸, 5B¹⁹, 6A²⁰ e 6B²¹ como representantes da ideia de que as teorias são descobertas, as alternativas 5D²², 5E²³, 5F²⁴, 6D²⁵ e 6E²⁶ para simbolizar que as teorias são inventadas, e as alternativas 5C²⁷ e 6C²⁸ possuem aspectos de ambas as ideias.

De acordo com o resultado encontrado (Tabela 9), podemos interpretar que os estudantes demonstraram alto grau de concordância com a ideia de que as leis e teorias são descobertas ($m = 2,7031$) através da coleta de dados experimentais. A categoria que remete à perspectiva de ambas as ideias, que também teve alto índice de concordância ($m = 2,5938$), demonstra a concepção de que a teoria é uma interpretação dos fatos, mas que os fatos experimentais são absolutos. Para a posição epistemológica de que leis e teorias são inventadas a média indica discordância dos estudantes ($m = 1,9125$).

Tabela 9 - Leis e teorias: média das respostas

Estatísticas de amostras emparelhadas

		Média	N	Desvio Padrão	Erro de média padrão
Descoberta	Pré teste	2,6875	64	1,18019	,14752
	Pós teste	2,7031	64	,98689	,12336
Inventada	Pré teste	1,7500	80	1,13070	,12642
	Pós teste	1,9125	80	1,08142	,12091
Ambas	Pré teste	2,4063	32	1,13192	,20010
	Pós teste	2,5938	32	,94560	,16716

Fonte: A autora

¹⁸5A. Descoberta, porque a ideia estava lá o tempo todo para ser revelada.

¹⁹5B. Descoberta, porque é baseada em fatos experimentais.

²⁰6A. Descoberta, porque as leis científicas estão lá na natureza, e os cientistas apenas precisam encontrá-las.

²¹6B. Descoberta, porque as leis científicas são baseadas em fatos experimentais.

²²5D. Inventada, porque uma teoria é uma interpretação de fatos experimentais, e os fatos experimentais são descobertos pelos cientistas.

²³5E. Inventada, porque uma teoria é criada ou elaborada pelos cientistas.

²⁴5F. Inventada, porque uma teoria pode ser refutada.

²⁵6D. Inventada, porque os cientistas inventam leis científicas para interpretar fatos experimentais descobertos.

²⁶6E. Inventada, uma vez que não há absolutos na natureza, portanto, a lei é inventada pelos cientistas.

²⁷5C. Alguns cientistas descobrem uma teoria acidentalmente, mas outros cientistas podem inventar uma teoria a partir dos fatos conhecidos.

²⁸6C. Alguns cientistas descobrem uma lei acidentalmente, mas outros cientistas podem inventar uma lei a partir dos fatos conhecidos.

Na comparação dos resultados dos questionários pré e pós, a categoria “Descoberta” teve tamanho de efeito irrisório ($r = 0,049$ na Tabela 10), logo não houve mudança de posicionamento dos estudantes em relação a este tópico. As categorias “Inventada” e “Ambas” tiveram tamanhos de efeito pequenos ($r = 0,107$ e $r = 0,148$, respectivamente), logo também não podemos assumir que houve uma mudança de posicionamento significativa nos estudantes durante a sequência didática através destes dados.

Tabela 10 - Leis e teorias: resultado do teste de Wilcoxon

	Significância (2 extremidades)	r	TDE
Descoberta	0,694	0,049	Irrisório
Inventada	0,34	0,107	Pequeno
Ambas	0,403	0,148	Pequeno

Fonte: A autora

Essa visão preponderante dos estudantes, de concordância com o aspecto de descoberta e discordância com o aspecto inventado, remete ao aspecto empírico de uma concepção ingênua de ciência. Essa interpretação diz respeito à concepção filosófica de que o conhecimento, logo a verdade sobre o mundo natural, nos está disponível e o papel do cientista é de desvendar essa linguagem. A natureza do conhecimento científico é, na verdade, inferencial (LEDERMAN *et al*, 2002). A concepção aceita como mais adequada e sofisticada pelos filósofos da ciência é de que

[...] a Ciência não é um conhecimento estático, todavia em constante transformação, sempre com o objetivo de compor modelos explicativos para os fenômenos do mundo natural. Nega-se, portanto, a visão de que a Ciência é um conjunto de verdades absolutas a serem aceitas cegamente (MOURA, 2014, p. 34).

Essa discussão profundamente filosófica sobre a essência da ciência não foi realizada em sala de aula e os estudantes mantiveram a suas concepções iniciais.

Acerca da possibilidade de comparação conceitual entre leis e teorias, utilizamos as sentenças 7A²⁹ e 7B³⁰ para comparar os significados e as sentenças

²⁹7A. Sim, teorias não são tão definitivas quanto leis.

³⁰7B. Sim, se uma teoria resistir a muitos testes, ela eventualmente se tornará uma lei; portanto, uma lei tem mais evidências de apoio.

7C³¹ e 7D³² para representar a definição de que leis e teorias representam aspectos diferentes da natureza.

Segundo a definição conceitual, uma lei científica é como uma declaração que expressa os esquemas/padrões observados tão precisamente quanto possível. Já as teorias científicas, são mais gerais e explicam os fatos englobados pelas leis empíricas. (LEDERMAN *et al*, 2002, p. 500) Portanto, como as sentenças 7A e 7B são afirmativas sobre a superioridade teórica e de evidências de uma lei em relação à teoria, logo a posição que representa uma visão informada é a de discordância. Em relação à categoria que representa que as leis e teorias são conceitos diferentes, a posição que representa uma visão informada é a de concordância.

Como podemos perceber ao avaliar os resultados (Tabela 11), os estudantes apresentaram concordância com a categoria de comparação de conceitos ($m = 3,0625$) e discordância com a posição que representa a diferença entre os conceitos ($m = 1,5313$). Houve uma má interpretação desses conceitos que não foi esclarecida durante a intervenção didática. A definição desses conceitos não foi abordada durante as aulas, pois não corresponde ao foco da discussão epistemológica desta pesquisa.

Tabela 11 - Leis e teorias 2: média das respostas

Estatísticas de amostras emparelhadas					
		Média	N	Desvio Padrão	Erro de média padrão
Comparação	Pré teste	2,8438	32	1,24717	,22047
	Pós teste	3,0625	32	,87759	,15514
Ideias Diferentes	Pré teste	1,5000	32	,95038	,16801
	Pós teste	1,5313	32	,91526	,16180

Fonte: A autora

Segundo os resultados do teste de Wilcoxon, os tamanhos de efeito da categoria de comparação entre os conceitos foi pequeno e da categoria sobre ideias diferentes foi irrisório, não adicionando informações relevantes para a discussão - portanto o teste de Wilcoxon não foi apresentado.

³¹7C. Não exatamente, algumas teorias têm mais evidências de apoio do que algumas leis.

³²7D. Não, teorias e leis são tipos diferentes de ideias. Não podem ser comparadas.

(5) O papel da imaginação e criatividade

A quinta categoria se refere ao uso da imaginação e criatividade no processo científico. A atitude positiva em relação às contribuições da imaginação é representada pelas alternativas 3A³³ e 3B³⁴ e as alternativas 3C³⁵, 3D³⁶ e 3E³⁷ dizem respeito à rejeição da intervenção da imaginação e criatividade na investigação científica.

Chen explica que optou por utilizar apenas o termo “imaginação” pois, em sua pesquisa piloto, os estudantes demonstraram mais hesitação em relação às contribuições da imaginação, mas menos problemas com o termo “criatividade” (CHEN, 2006, p. 806). Apenas o termo “imaginação” foi mantido justamente para provocar essa indagação e evitar resultados equivocados causados pela mistura dos dois termos.

Os estudantes demonstraram alta concordância em relação ao uso da imaginação no processo científico e foram discordantes à posição de que o uso de imaginação faz perder a confiabilidade da ciência (veja a Tabela 12).

Tabela 12 - Papel da imaginação: média das respostas

Estatísticas de amostras emparelhadas					
		Média	N	Desvio Padrão	Erro de média padrão
Sim	Pré teste	2,5625	32	1,04534	,18479
	Pós teste	2,7188	32	,77186	,13645
Não	Pré teste	1,7292	48	1,16216	,16774
	Pós teste	1,3333	48	,90703	,13092

Fonte: A autora

Após a aplicação das aulas, os participantes passaram a discordar ainda mais com a posição adversa ao uso de imaginação no processo científico, tendo um tamanho de efeito médio ($r = 0,332$, na Tabela 13) e representando uma mudança substancial no posicionamento ($p = 0,022$).

³³3A. Sim, a imaginação é o principal recurso da inovação.

³⁴3B. Sim, cientistas podem usar sua imaginação mais ou menos na pesquisa científica.

³⁵3C. Não, a imaginação não é consistente com a lógica dos princípios da ciência.

³⁶3D. Não, a imaginação pode se tornar um meio para provar seu ponto de vista a todo custo.

³⁷3E. Não, o uso da imaginação perde a confiabilidade.

Tabela 13 - Papel da imaginação: resultado do teste de Wilcoxon

	Significância (2 extremidades)	r	TDE
Sim	0,371	0,158	Pequeno
Não	0,022	0,332	Médio

Fonte: A autora

Esse posicionamento dos estudantes indica uma visão informada sobre a natureza da ciência. Assim como Moreira e Massoni (2016, p. 54) destacam como aspecto da epistemologia contemporânea, “a imaginação e a criatividade são ingredientes indispensáveis para o avanço do conhecimento científico, aliadas às técnicas de investigação científica”. Portanto, conclui-se que no momento anterior à aplicação da sequência didática os estudantes já possuíam uma concepção informada sobre o papel da imaginação e da criatividade no processo de inovação e, após a intervenção, passaram a considerá-los ainda mais importantes.

(6) O processo de validação do conhecimento científico

Essa categoria busca compreender como os estudantes pensam a respeito da aceitação de uma teoria pela comunidade científica. Em princípio, a teoria é avaliada com base nas evidências empíricas (1A³⁸, 1H³⁹). No entanto, a comunidade científica também pode optar pela teoria que desvie menos do paradigma contemporâneo (1C⁴⁰, 1F⁴¹), se utilizar dos critérios de simplicidade e parcimônia (1D⁴²), julgar através da autoridade do proponente (1E⁴³) ou simplesmente por intuição (1G⁴⁴).

A ideia mais bem aceita pelos estudantes, que possui maior concordância, é de que os cientistas se utilizam da evidência empírica para validar o conhecimento ($m = 3,25$). A avaliação da comunidade científica através do paradigma vigente

³⁸1A. Sim, porque os cientistas ainda não podem, objetivamente, dizer qual delas é melhor, portanto, irão aceitar as duas tentativas.

³⁹1H. Não, porque há apenas uma verdade, os cientistas não aceitam nenhuma teoria antes de distinguir qual é melhor.

⁴⁰1C. Não, porque os cientistas tendem a aceitar a teoria na qual eles estão mais familiarizados.

⁴¹1F. Não, cientistas tendem a aceitar novas teorias que desviem menos do campo teórico contemporâneo das teorias científicas já estabelecidas.

⁴²1D. Não, porque os cientistas tendem a aceitar a explicação mais simples e evitar teorias mais complexas.

⁴³1E. Não, o status acadêmico de cada teórico vai influenciar os cientistas na aceitação da teoria.

⁴⁴1G. Não, os cientistas usam a intuição para fazer julgamentos.

assume posição entre a indiferença e a discordância ($m = 1,1875$), e os argumentos de parcimônia, autoridade e intuição foram fortemente desconsiderados pelos estudantes ($m = 0,5625$, $m = 0,9375$ e $m = 0,5$ na Tabela 14).

Tabela 14 - Validação do conhecimento: média das respostas

Estatísticas de amostras emparelhadas					
		Média	N	Desvio Padrão	Erro de média padrão
Evidência Empírica	Pré teste	2,9063	32	,96250	,17015
	Pós teste	3,2500	32	,80322	,14199
Paradigma	Pré teste	1,6250	32	1,15703	,20454
	Pós teste	1,1875	32	,93109	,16460
Parcimônia	Pré teste	,7500	16	1,18322	,29580
	Pós teste	,5625	16	,62915	,15729
Autoridade	Pré teste	1,3125	16	1,07819	,26955
	Pós teste	,9375	16	,92871	,23218
Intuição	Pré teste	,3750	16	,61914	,15478
	Pós teste	,5000	16	,63246	,15811

Fonte: A autora

A categoria que representa o uso de evidências empíricas para a validação do conhecimento teve um tamanho de efeito médio ($r = 0,342$, Tabela 15) e uma indicação de mudança moderada ($p = 0,053$), passando para uma posição ainda mais concordante. Já a alternativa que versa sobre a manutenção do paradigma vigente também apresentou tamanho de efeito médio ($r = 0,321$) com uma significância de mudança marginal ($p = 0,07$) e passou para uma posição mais discordante com a sentença. As demais categorias apresentaram um tamanho de efeito pequeno, indicando assim, pouca mudança no posicionamento dos estudantes a respeito delas.

Tabela 15 - Validação do conhecimento: resultado do teste de Wilcoxon

	Significância (2 extremidades)	r	TDE
Evidência Empírica	0,053	0,342	Médio
Paradigma	0,07	0,321	Médio
Parcimônia	0,55	0,15	Pequeno
Autoridade	0,397	0,212	Pequeno
Intuição	0,48	0,177	Pequeno

Fonte: A autora

O papel da evidência empírica na validação do conhecimento é inegável. Cientistas experimentais despendem esforços tremendos para testar a predição de resultados teóricos. Podemos assumir que em uma visão informada de NDC considera-se que “o conhecimento científico baseia-se fortemente, mas não inteiramente, na observação, evidência experimental, argumentos racionais e ceticismo” (FORATO, PIETROCOLA, MARTINS, 2011, p. 33). Dessa maneira, a forte concordância dos estudantes com essa sentença está alinhada com a literatura especializada.

Em relação à categoria sobre a tendência ao mantimento do paradigma vigente, os estudantes apresentaram uma posição mais discordante ao final da pesquisa. Essa discordância parece ser resultado das reflexões a respeito do recorte histórico abordado, já que estudaram e defenderam perante à banca mudanças importantes nas teorias sobre a natureza da luz.

A discordância com os aspectos referente à avaliação do conhecimento por meio de parcimônia (ou simplicidade), autoridade e intuição demonstram um posicionamento crítico e racional que condiz com a postura que esperamos da comunidade científica.

(7) A objetividade e subjetividade da ciência

A comunidade científica se utiliza de mecanismos, como a revisão por pares ou triangulação dos dados, na tentativa de estabelecer objetividade. No entanto, características subjetivas dos cientistas, como crenças pessoais, valores, intuição e criatividade também acabam por influenciar as atividades científicas. Essa subjetividade pode impregnar as observações, interpretações e escolhas teóricas e esse aspecto da dimensão social da ciência de Abd-El-Khalick e Lederman (2023, p. 857) deve ser considerado.

Nesta análise, iremos subdividir a categoria nos aspectos objetivos e subjetivos para quantificar os mais relevantes de cada parte segundo as respostas dos estudantes. Dentre os aspectos subjetivos, podemos considerar a autoridade do

proponente (1E⁴⁵), parcimônia (1D⁴⁶), a influência do paradigma contemporâneo (1C⁴⁷, 1F⁴⁸, 8A⁴⁹ e 8B⁵⁰), fatores pessoais (1G⁵¹, 8A), influência sociocultural (2A⁵², 2B⁵³), o papel da imaginação (3A⁵⁴, 3B⁵⁵), as escolhas metodológicas (9D⁵⁶) e ou a neutralidade diante de escolhas (1B⁵⁷).

Comparando os resultados (Tabela 16), podemos perceber que os aspectos de neutralidade, imaginação e a influência sociocultural foram considerados pelos estudantes como parte do processo científico, apresentando médias acima de 2,0 pontos, tendendo à concordância das sentenças. Seguindo em ordem do menos para o mais discordante, temos os aspectos do paradigma vigente e fatores pessoais assumindo posição entre a indiferença e a discordância ($m = 1,6563$ e $m = 1,5$), e autoridade, metodologia e parcimônia apresentando forte discordância (médias abaixo de 1,0).

⁴⁵1E. Não, o status acadêmico de cada teórico vai influenciar os cientistas na aceitação da teoria.

⁴⁶1D. Não, porque os cientistas tendem a aceitar a explicação mais simples e evitar teorias mais complexas.

⁴⁷1C. Não, porque os cientistas tendem a aceitar a teoria na qual eles estão mais familiarizados.

⁴⁸1F. Não, cientistas tendem a aceitar novas teorias que desviem menos do campo teórico contemporâneo das teorias científicas já estabelecidas.

⁴⁹8A. As observações são diferentes, porque crenças diferentes levam a expectativas diferentes que influenciam a observação.

⁵⁰8B. As observações serão as mesmas, porque os cientistas treinados na mesma área têm ideias semelhantes.

⁵¹1G: Não, os cientistas usam a intuição para fazer julgamentos.

⁵²2A. Sim, valores socioculturais influenciam a direção e os tópicos de investigações científicas.

⁵³2B. Sim, porque os cientistas que participam na investigação científica são influenciados por valores socioculturais

⁵⁴3A. Sim, a imaginação é o principal recurso da inovação.

⁵⁵3B. Sim, cientistas podem usar sua imaginação mais ou menos na pesquisa científica.

⁵⁶9D. Não existe o chamado método científico. Os cientistas usam qualquer método para obter resultados.

⁵⁷1B. Sim, porque as duas teorias podem fornecer explicações sob diferentes perspectivas, não há certo ou errado.

Tabela 16 - Subjetividade: média das respostas

		Estatísticas de amostras emparelhadas			
		Média	N	Desvio Padrão	Erro de média padrão
Parcimônia	Pré teste	,7500	16	1,18322	,29580
	Pós teste	,5625	16	,62915	,15729
Autoridade	Pré teste	1,3125	16	1,07819	,26955
	Pós teste	,9375	16	,92871	,23218
Paradigma	Pré teste	1,8594	64	1,19346	,14918
	Pós teste	1,6563	64	1,10150	,13769
Fatores Pessoais	Pré teste	1,5000	32	1,41421	,25000
	Pós teste	1,5000	32	1,27000	,22451
Influência Sociocultural	Pré teste	2,2500	32	1,36783	,24180
	Pós teste	2,1875	32	,99798	,17642
Imaginação	Pré teste	2,5625	32	1,04534	,18479
	Pós teste	2,7188	32	,77186	,13645
Metodologia	Pré teste	,5625	16	,81394	,20349
	Pós teste	,6875	16	,79320	,19830
Neutralidade	Pré teste	2,1875	16	1,22304	,30576
	Pós teste	3,2500	16	,77460	,19365

Fonte: A autora

A sentença que diz respeito à neutralidade nas escolhas, a partir do questionamento de como se dá o posicionamento dos cientistas ao encararem teorias concorrentes, apresenta maior disparidade entre pré e pós teste, com tamanho de efeito grande ($r = 0,751$) e uma significância de fortíssima alteração ($p = 0,003$ na Tabela 17). As categorias sobre a influência sociocultural e de fatores pessoais apresentaram tamanho de efeito irrisório (não indica mudança no posicionamento) e as demais categorias apresentaram tamanho de efeito pequeno, indicando pouca alteração no posicionamento dos estudantes.

Tabela 17 - Subjetividade: resultado do teste Wilcoxon

	Significância (2 extremidades)	r	TDE
Parcimônia	0,55	0,15	Pequeno
Autoridade	0,397	0,212	Pequeno
Paradigma	0,202	0,16	Pequeno
Fatores Pessoais	0,963	0,008	Irrisório
Influência Sociocultural	0,712	0,065	Irrisório
Imaginação	0,371	0,158	Pequeno
Metodologia	0,608	0,128	Pequeno
Neutralidade	0,003	0,751	Grande

Fonte: A autora

A sentença que representa o aspecto da neutralidade na definição do conhecimento científico, questão 1B, versa sobre a aceitação de duas teorias concorrentes, pois elas podem oferecer explicações sob diferentes perspectivas. A indicação do teste de Wilcoxon como grande efeito de mudança nos leva a interpretar que o aumento na concordância com essa sentença tenha sido provocado por alguma reflexão durante o decorrer das aulas.

Não é possível afirmar em qual momento e sob quais condições essa mudança de posicionamento ocorreu, pois a aprendizagem é um processo pessoal, complexo e multifatorial. No entanto, podemos conjecturar que a temática de confronto de teorias concorrentes oportunizou um momento de reflexão sobre o caráter tentativo e subjetivo da ciência.

A categoria denominada como “Fatores pessoais” agrega as afirmativas 1G e 8A e apresenta resultados díspares entre elas. A sentença 1G, que aborda o uso da intuição na validação das teorias - que aparece também, isoladamente, na categoria “autoridade” do processo de validação do conhecimento - apresenta forte discordância. Já a sentença 8A aborda como as observações são afetadas pelas crenças teóricas do pesquisador - faz parte também da categoria “carregada de teoria” da natureza da observação - apresenta concordância dos estudantes. Ambos os posicionamentos são considerados adequados.

Ademais, a concordância com o aspecto subjetivo da ciência presente nas categorias sobre uso da imaginação e a influência dos fatores socioculturais, juntamente com a discordância com os aspectos sobre o julgamento a partir da autoridade ou parcimônia, indicam uma visão sofisticada de ciência, reconhecendo o aspecto da dimensão social da ciência (ABD-EL-KHALICK; LEDERMAN, 2023, p. 857).

Em relação aos aspectos objetivos e racionais da ciência, contraponto com a categoria anterior, temos a representação da ausência de influência sociocultural mediante à treinamento (2C⁵⁸, 2D⁵⁹), a descredibilidade do uso da imaginação (3C⁶⁰,

⁵⁸2C. Não, cientistas com bom treinamento são isentos de crenças enquanto estão realizando a pesquisa.

⁵⁹2D. Não, porque ciência requer objetividade, o que é o contrário da subjetividade dos valores socioculturais.

⁶⁰3C. Não, a imaginação não é consistente com a lógica dos princípios da ciência.

3E⁶¹), a objetividade da base experimental (5B⁶², 6B⁶³, 8D⁶⁴), a não influência de crenças pessoais (8C⁶⁵), a objetividade em relação à metodologia (8E⁶⁶, 9A⁶⁷, 9B⁶⁸) e a objetividade como um aspecto geral (1A⁶⁹, 1H⁷⁰).

Nessa categoria, os aspectos que demonstraram maior concordância dos estudantes foram a objetividade em relação à metodologia, aos fatos experimentais e a ausência de influência sociocultural mediante treinamento (média > 2,0 na Tabela 17). Entre a indiferença e a discordância temos a contraindicação ao uso da imaginação e a ausência de crenças pessoais no trabalho científico (m = 1,4063 e m = 2,0). A posição que considera a objetividade como um todo teve forte discordância (média < 1,0).

Tabela 18 - Objetividade: média das respostas

		Estatísticas de amostras emparelhadas			
		Média	N	Desvio Padrão	Erro de média padrão
Sem influência sociocultural	Pré teste	2,3438	32	1,42805	,25245
	Pós teste	2,1250	32	1,28891	,22785
Uso da imaginação	Pré teste	1,5938	32	1,13192	,20010
	Pós teste	1,4063	32	,87471	,15463
Base em fatos experimentais	Pré teste	2,3542	48	1,27979	,18472
	Pós teste	2,6250	48	1,04423	,15072
Sem influência de crenças pessoais	Pré teste	1,7500	16	1,06458	,26615
	Pós teste	2,0000	16	,89443	,22361
Metodologia	Pré teste	2,8542	48	1,01036	,14583
	Pós teste	3,0833	48	,73899	,10666
Como um todo	Pré teste	1,0938	32	,96250	,17015
	Pós teste	,7500	32	,80322	,14199

Fonte: A autora

⁶¹3E. Não, o uso da imaginação perde a confiabilidade.

⁶²5B. Descoberta, porque é baseada em fatos experimentais.

⁶³6B. Descoberta, porque as leis científicas são baseadas em fatos experimentais.

⁶⁴8D. As observações são as mesmas, porque observações são exatamente o que vemos e nada mais. Fatos são fatos. Interpretações podem ser diferentes de uma pessoa para outra, mas as observações devem ser as mesmas.

⁶⁵8C. As observações serão as mesmas, porque, através do treinamento científico, os cientistas podem abandonar valores pessoais para realizar observações objetivas.

⁶⁶8E. As observações serão as mesmas. Embora a subjetividade não possa ser completamente evitada na observação, os cientistas usam diferentes métodos para verificar os resultados e melhorar a objetividade.

⁶⁷9A. O método científico garante resultados válidos, claros, lógicos e precisos. Portanto, a maioria dos cientistas segue o método universal na pesquisa.

⁶⁸9B. A maioria dos cientistas usa o método científico porque é um procedimento lógico.

⁶⁹1A. Sim, porque os cientistas ainda não podem, objetivamente, dizer qual delas é melhor, portanto, irão aceitar as duas tentativas.

⁷⁰1H. Não, porque há apenas uma verdade, os cientistas não aceitam nenhuma teoria antes de distinguir qual é melhor.

A mudança de percepção sobre a objetividade de modo geral, que já era discordante e ficou ainda mais acentuada, teve um tamanho de efeito médio ($r = 0,342$ na Tabela 19), com uma indicação de significância moderada ($p = 0,053$). As demais categorias apresentaram tamanho de efeito pequeno, indicando pouca alteração no posicionamento dos estudantes.

Tabela 19 - Objetividade: resultado do teste de Wilcoxon

	Significância (2 extremidades)	r	TDE
Sem influência sociocultural	0,528	0,112	Pequeno
Uso da imaginação	0,235	0,21	Pequeno
Base em fatos experimentais	0,169	0,199	Pequeno
Sem influência de crenças pessoais	0,256	0,284	Pequeno
Metodologia	0,143	0,212	Pequeno
Como um todo	0,053	0,342	Médio

Fonte: A autora

Para a avaliação do papel da objetividade como um todo, a sentença 1A foi valorada ao contrário, pois a sua concordância representa a mesma ideia da discordância com a sentença 1H. Analisando a categoria como um todo, o resultado discordante com o aspecto puramente objetivo da ciência, em especial com a sentença 1H que diz “há apenas uma verdade”, indica uma reflexão qualificada sobre a indefinição de verdades na ciência e o papel transitório das teorias, concordando que os cientistas irão considerar as duas “tentativas” (trecho da sentença 1A).

De maneira resumida, avaliando juntamente os aspectos objetivos e subjetivos listados, temos:

- A. Discordância com os aspectos subjetivos da avaliação da ciência a partir da autoridade e parcimônia (ou simplicidade) - visão informada;
- B. Discordância com a influência do paradigma contemporâneo nas decisões dos cientistas e na alteração de teorias - visão informada;

- C. Concordância com o aspecto subjetivo do papel da imaginação e discordância com o aspecto objetivo de descredibilidade da imaginação - visão informada;
- D. Concordância com o aspecto subjetivo da influência sociocultural no direcionamento de pesquisas e nas decisões do cientista, mas com ressalvas em relação ao quanto isso deve influenciar a pesquisa (papel objetivo) - visão informada;
- E. Concordância com o aspecto subjetivo de neutralidade e discordância com o aspecto objetivo como um todo - visão informada;
- F. Discordância com o aspecto subjetivo da influência de crenças pessoais nas pesquisas científicas e indiferença com o aspecto objetivo de abandono total dessas crenças pessoais - visão informada;
- G. Concordância com o aspecto objetivo das evidências empíricas por considerá-las absolutas - visão ingênua;
- H. Discordância com o aspecto subjetivo da metodologia - que remete a uma diversidade metodológica - visão ingênua;
- I. Concordância com o aspecto racional da metodologia - que remete aos esforços para conferir objetividade à pesquisa - visão informada.

A lista de aspectos subjetivos e objetivos repetem alguns pontos já comentados anteriormente. Os pontos “A” e “B” são discutidos mais profundamente na categoria “Processo de validação do conhecimento científico”; o ponto “C” é discutido em “O papel da imaginação e criatividade”; em relação ao ponto “G” a reflexão mais aprofundada se encontra em “Relação entre hipóteses, leis e teorias” e, por fim, os destaques “H” e “I” estão presentes na discussão sobre a “Existência de diferentes métodos de obtenção de dados e conhecimento”.

(8) Ensinar sobre tentatividade

Das questões sobre ensino de ciências do questionário original, apenas foram mantidas na versão final as questões que dizem respeito a ensinar sobre o aspecto tentativo da ciência e sobre a metodologia científica. As sentenças que buscam entender a opinião dos estudantes sobre o ensino do aspecto tentativo são

as alternativas 11A⁷¹ e 11B⁷², enquanto as alternativas 11C⁷³, 11D⁷⁴ e 11E⁷⁵ verificam a opinião sobre a necessidade de evitar ensinar esse aspecto.

O consenso entre os estudantes é de que é positivo ensinar sobre o aspecto tentativo e provisório da ciência (média > 3 na Tabela 20), demonstrando que eles valorizam o ensino sobre os conflitos teóricos e mudanças conceituais que aconteceram na história da ciência. A forte discordância (média < 1) sobre a perda de confiabilidade da ciência ao expor tais conflitos reafirma o pensamento disposto acima. Não houveram mudanças significativas entre as médias de respostas nos questionários pré e pós - portanto o teste de Wilcoxon não é apresentado (tamanhos de efeito pequeno e irrisório).

Tabela 20 - Ensinar sobre tentatividade: média das respostas

Estatísticas de amostras emparelhadas					
		Média	N	Desvio Padrão	Erro de média padrão
Ensinar sobre Tentatividade	Pré teste	3,2500	32	,50800	,08980
	Pós teste	3,3750	32	,60907	,10767
Evitar ensinar sobre Tentatividade	Pré teste	,6458	48	,66811	,09643
	Pós teste	,6250	48	,67240	,09705

Fonte: A autora

(9) Ensinar sobre a metodologia científica

A última categoria diz respeito ao ensino da metodologia científica no sentido de compreender a essência do trabalho científico, as técnicas para conferir objetividade ao conhecimento e aproximar os estudantes dos cientistas. Chen seleciona as questões 10A⁷⁶, 10B⁷⁷, 10C⁷⁸, 10D⁷⁹, 10E⁸⁰ e 10F⁸¹ como

⁷¹11A. Sim, para que eles compreendam a verdadeira natureza da ciência.

⁷²11B. Sim, para que eles entendam o motivo pelo qual a ciência avança.

⁷³11C. Não, isso diminuirá o interesse dos alunos em aprender ciência.

⁷⁴11D. Não, isso diminuirá a aceitação dos alunos em relação à ciência.

⁷⁵11E. Não, os alunos só precisam aprender sobre os fundamentos constantes do conhecimento científico.

⁷⁶10A. Sim, para que os alunos tenham diretrizes a seguir.

⁷⁷10B. Sim, porque os alunos ainda são incapazes de criar métodos mais apropriados.

⁷⁸10C. Sim, eles devem aprender o que os cientistas fazem.

⁷⁹10D. Sim, porque o método científico é o melhor método que os cientistas desenvolveram até agora.

⁸⁰10E. Sim, isso ajuda os alunos a aprender uma maneira objetiva de estudar ciência.

⁸¹10F. Sim, pode ajudar os alunos a entender a essência da ciência.

correspondentes da posição positiva em relação ao ensino do método científico universal, e as questões 10G⁸², 10H⁸³ e 10I⁸⁴ como correspondentes da posição de que é importante encorajar diferentes métodos.

A posição adotada pelos estudantes é bastante positiva em relação ao ensino do método científico universal (média > 2,9 na Tabela 21) e altamente discordante ao incentivo de diferentes métodos (média < 1,0). Embora essa visão pareça remeter ao aspecto ingênuo da ciência, a autora não especifica as características desse “método científico universal”, logo, não devemos associá-lo ao que definimos como método indutivo.

Tabela 21 - Ensinar sobre a metodologia científica: média das respostas

Estatísticas de amostras emparelhadas					
		Média	N	Desvio Padrão	Erro de média padrão
Ensinar o método científico universal	Pré teste	2,9375	96	,81837	,08352
	Pós teste	3,0208	96	,83325	,08504
Encorajar diferentes métodos	Pré teste	,9583	48	,96664	,13952
	Pós teste	,9375	48	,86063	,12422

Fonte: A autora

Uma afirmação moderada que podemos fazer é de que os estudantes compreendem que a ciência possui uma metodologia própria, da qual através dela é conferida objetividade ao conhecimento desenvolvido. Não houveram mudanças significativas entre as médias das respostas dessas questões entre o pré e pós teste - portanto o teste de Wilcoxon não é apresentado (tamanhos de efeito pequeno e irrisório).

Síntese dos resultados:

De maneira geral, os aspectos que tiveram maiores alterações em relação ao posicionamento dos estudantes após a aplicação da sequência didática estão expressos na Tabela 22.

⁸²10G. Não, não devemos ensinar apenas um método científico. Os alunos devem ter espaço para pensar e desenvolver seus próprios métodos.

⁸³10H. Não, não existe o chamado método científico.

⁸⁴10I. Não, os professores e alunos devem fazer brainstorming sobre diferentes métodos de pesquisa.

Tabela 22 - Aspectos com sinalização de alteração de posicionamento

Categoria	Posição filosófica	Resultado final (pós-teste) entre	Tamanho de efeito	r	Significância	valor p
Subjetividade	Neutralidade	C - CT	Grande	0,751	Fortíssima	0,003
Tentatividade	Evolucionário	C - CT	Médio	0,469	Moderada	0,061
Natureza da observação	Independente da teoria	I - C	Médio	0,447	Forte	0,011
Validação do conhecimento	Evidência empírica	C - CT	Médio	0,342	Moderada	0,053
Objetividade	Como um todo	DT - D	Médio	0,342	Moderada	0,053
Papel da imaginação	Não	D - I	Médio	0,332	Substancial	0,022
Validação do conhecimento	Paradigma	D - I	Médio	0,321	Marginal	0,070

Fonte: A autora

Podemos concluir, então, que a aplicação da sequência didática privilegiou a reflexão sobre a postura científica diante de teorias concorrentes, evidenciado pelo aumento de concordância com o aspecto subjetivo da categoria chamada “neutralidade” e maior discordância com aspecto subjetivo “como um todo”. Essas categorias assinalavam a definição das teorias como tentativas e a importância da consideração das duas teorias como complementares, pois elas podem oferecer explicações sob diferentes perspectivas.

Percebemos também que a temática de confronto de teorias concorrentes oportunizou um momento de reflexão sobre o caráter tentativo e provisório da ciência, especialmente evidenciado pelo aumento de concordância com a posição filosófica evolucionária. O maior apreço pela epistemologia evolucionária, em comparação com a revolucionária que teve um grau menor de concordância, parece indicar que os estudantes compreenderam o aspecto complementar das duas teorias como partes integrantes de uma teoria mais completa, reconhecendo o caráter do progresso científico ancorado em conhecimentos prévios.

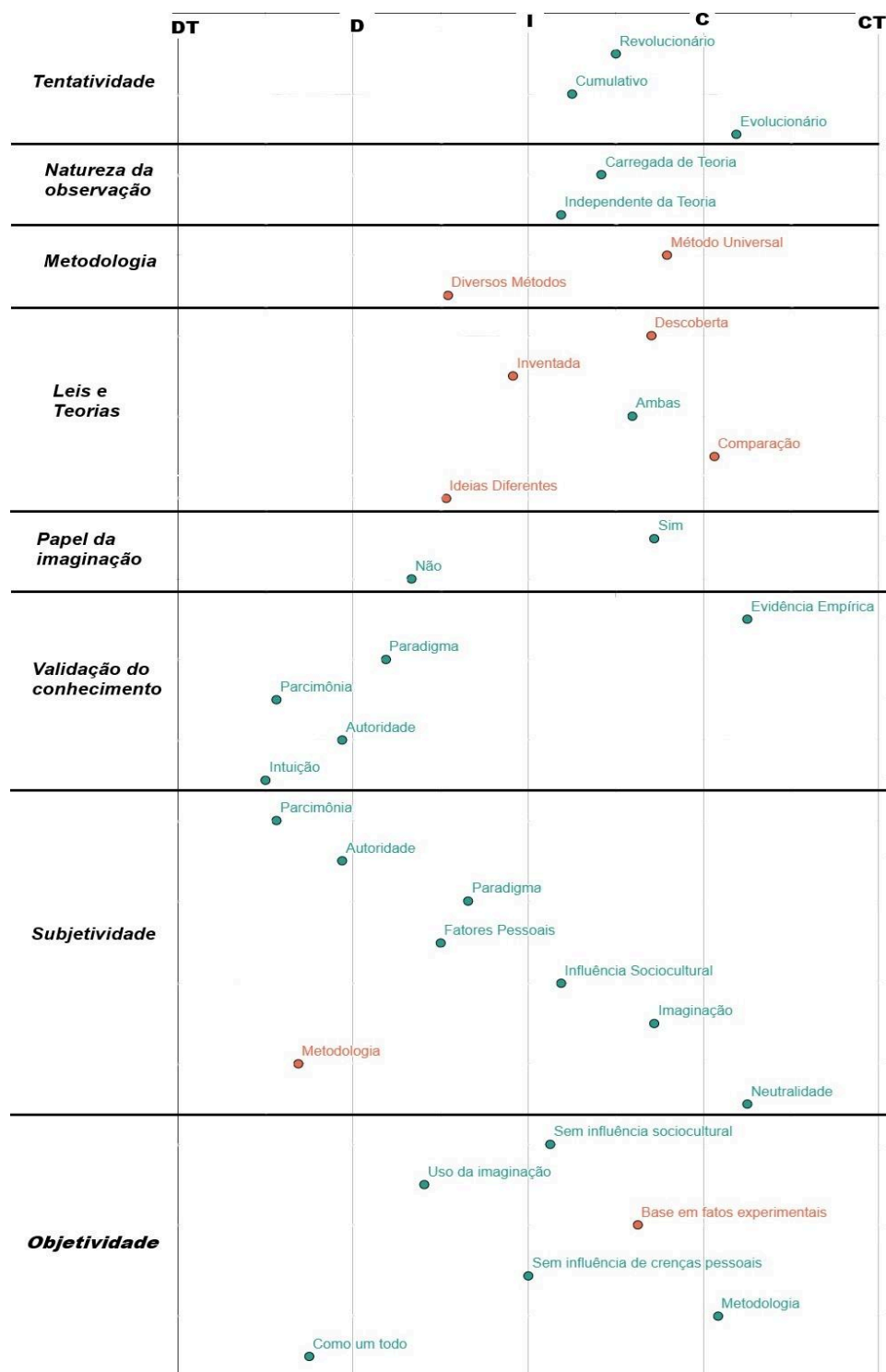
Em relação às reflexões sobre a natureza da observação, houve um aumento de concordância com o aspecto de independência entre a observação e a teoria. Esse aumento de consideração da neutralidade da observação, aparentemente ingênuo, na verdade se deu em relação à importância de, no contexto de justificação da teoria, utilizar de métodos para melhorar a objetividade da coleta de dados. Essa reflexão parece ter conexão com a temática da sequência didática, pois ao estudar alguns experimentos cruciais, como a dupla fenda e o efeito fotoelétrico, é necessário desprender-se das teorias prévias e encarar o fenômeno sob novas perspectivas teóricas. Isso exige um tanto de objetividade do cientista.

Em relação ao processo de validação do conhecimento, o aspecto empírico passou a ser mais considerado e a relação com o paradigma vigente mais desconsiderada. O recorte histórico de um período revolucionário da física os fez perceber que nem sempre o paradigma vigente é mantido, evidenciando novamente o caráter tentativo e provisório da ciência. O aspecto empírico do conhecimento científico foi evidenciado através da apresentação de experimentos cruciais (dupla fenda e efeito fotoelétrico), o que pode ter contribuído para o aumento na concordância com esse aspecto para a validação do conhecimento.

Ademais, a categoria sobre a descredibilização do uso de imaginação e criatividade no processo científico ficou mais acentuada, tornando-se mais discordante. O reconhecimento do caráter inventivo e criativo, bem como do papel da imaginação na elaboração de teorias e experimentos demonstra uma visão adequada sobre a essência da ciência.

A figura 12 apresenta um compilado de todas as categorias de natureza da ciência descritas no questionário VOSE e a posição média dos estudantes relativa ao questionário realizado ao final da sequência didática. Os pontos indicados em verde simbolizam uma posição informada e mais sofisticada da ciência (considerando o grupo analisado), de acordo com a literatura citada anteriormente, e os pontos em vermelho indicam uma posição ingênua de ciência.

Figura 12 - Compilado de respostas do questionário pós



Fonte: A autora

Para analisar a figura basta localizar o ponto em relação às linhas verticais que descrevem as alternativas da escala Likert - discordo totalmente (DT), discordo (D), indiferente (I), concordo (C) e concordo totalmente (CT) - e visualizar a opinião

expressa pelos estudantes, a cor indica se essa posição é informada ou ingênua. Por exemplo, podemos perceber que os estudantes possuem uma visão informada sobre a categoria que representa o papel da imaginação, estando a alternativa favorável ao seu uso perto de “concordo” e a alternativa que representa a negativa ao seu uso mais perto de “discordo”. Ambas em verde, pois isso significa uma visão informada de ciência.

Podemos ver o contra exemplo analisando a categoria “Metodologia”, que possui ambos os pontos em vermelho, indicando uma visão ingênua dos estudantes sobre esse tópico. Uma visão informada, por exemplo, consideraria a utilização de diversos métodos, não somente o chamado “método universal”, como já discutido anteriormente.

Com a figura é simples a visualização dos pontos que não foram esclarecidos durante a sequência didática. O tópico referente às leis e teorias evidencia a falta de elucidação sobre as definições e sua epistemologia. Esse ponto de atenção pode ser revisto em novas aplicações da sequência didática, incluindo um tópico de discussões sobre o tema.

Por fim, ao avaliar os tópicos “Subjetividade” e “Objetividade”, devemos ter em mente que os pontos com mesmo nome nem sempre simbolizam posições contraditórias. Por exemplo, a leve concordância com os aspectos “Influência sociocultural” e “Sem influência sociocultural” foi considerada informada, assim como justificado no item “D” da lista presente na discussão anterior sobre esses aspectos. Essa ocorrência também se repete com os aspectos “Fatores pessoais” e “Sem influência de crenças pessoais”, explicados no item “F” desta mesma lista.

Por fim, os pontos referentes à “metodologia” nas categorias “Subjetividade” e “Objetividade” representam aspectos diferentes da metodologia. A concordância com o aspecto racional e objetivo da metodologia é adequado, mas a discordância com uma possível diversidade metodológica remete a uma visão ingênua (ambos os pontos discutidos nos itens H e I da lista, e no tópico “Existência de diferentes métodos de obtenção de dados e conhecimento”).

7.2 Análise da produção textual

Durante a sequência didática, os estudantes, em grupos, produziram três documentos. Os grupos teóricos produziram documentos em formato de artigo

científico e a comissão da banca produziu um edital de pesquisa com os critérios de avaliação. Começaremos analisando o edital de pesquisa.

7.2.1 Análise do edital de pesquisa

A comissão da banca elaborou o edital de pesquisa baseado no modelo fornecido, estruturando a escrita com os tópicos: finalidade e objetivos do projeto de pesquisa; os critérios de avaliação para a seleção dos projetos de pesquisa e divulgação e destinação da verba (O edital completo elaborado pelos alunos pode ser visto no apêndice F). Ao estabelecer a finalidade e objetivos, no edital, o grupo escreve:

O objetivo da pesquisa é trazer conhecimento científico com resultados academicamente relevantes e referências bibliográficas sólidas. Também é necessário que o trabalho possa ser continuado, traga retorno financeiro para a instituição e tenha aplicabilidade, direta ou indiretamente, para a sociedade, sendo desenvolvido sempre com base no método científico.

Neste trecho, é possível identificar menção aos aspectos de **inserção social e cultural da ciência**, de Lederman *et al* (2002), quando os estudantes proferem como objetivo o retorno financeiro para a instituição e a aplicabilidade para a sociedade. Além desse aspecto, identificamos também o destaque dado pelos estudantes para a necessidade de referências bibliográficas, demonstrando preocupação da comissão da banca com a validade das informações apresentadas pelos pesquisadores. Apesar da menção ao método científico, nenhum dos critérios de avaliação faz referência a esse aspecto.

Na seção sobre os critérios de avaliação para a seleção dos projetos de pesquisa, os estudantes estipularam 17 critérios. Estes foram classificados em 4 categorias:

- 7 itens, dos 17, fazem referência à argumentação, coesão e postura dos grupos perante a banca;
- 5 itens, dos 17, fazem referência ao embasamento teórico e domínio do conteúdo;
- 3 itens, dos 17, fazem referência à evidência empírica e a apresentação de experimentos;

- 2 itens, dos 17, indicam a preocupação com aspectos sociais como o retorno financeiro e a continuidade da pesquisa.

Primeiramente, podemos destacar que o aspecto que apareceu com maior frequência, logo considerado pelos estudantes como mais importante, foi a argumentação. Podemos inferir, através deste aspecto, que a comissão da banca estava interessada na apresentação da teoria com os argumentos mais coesos e organizados, e não necessariamente em julgar que uma teoria ou outra é mais ou menos verdadeira.

A menção de aspectos sobre o embasamento teórico e domínio da teoria, em conjunto com os aspectos sobre a apresentação de evidências empíricas, também estabelecem a importância que a comissão da banca deposita nos aspectos teóricos das apresentações. Com a exceção de um dos critérios incluídos nestas duas categorias, o critério 9 que está apresentado abaixo, os demais não fazem menção à comparação das teorias, o que indica a intenção da banca para que a avaliação não seja feita pela melhor ou pior teoria, mas sim pela apresentação melhor embasada.

9. Argumentação de exclusividade (como o experimento reforça exclusivamente a teoria defendida).

Por fim, dois itens enfatizaram a importância do impacto social da pesquisa, assim como citado anteriormente nos objetivos, em relação ao retorno financeiro e aplicabilidade da pesquisa.

A última seção do edital de pesquisa diz respeito à divulgação do mérito do projeto. A comissão da banca estipulou um sistema de avaliação quantitativo para os grupos (descrito como ficha de avaliação na seção 6.3.4 deste trabalho) com base nos critérios estabelecidos no edital. Importante ressaltar que os 17 critérios estabelecidos no edital, viraram 18 na ficha de avaliação, pois a categoria clareza foi considerada em duas categorias diferentes. De acordo com a pontuação final de cada grupo, a verba poderia ser destinada de três formas:

- 1) GRUPO COM CONCEITO FINAL SUPERIOR (diferença entre conceitos >10%): O proponente com maior conceito final recebe o custeio integral.
- 2) CONCEITOS FINAIS EQUIPARADOS (diferença entre os conceitos <10%): a verba será igualmente repartida entre os proponentes.
- 3) CONCEITOS FINAIS EMBRIONÁRIOS (conceito final de nenhum dos grupos ultrapassa 128 pontos): A banca não realizará aportes.

A escolha pela avaliação dos grupos com notas permite, novamente, evitar o julgamento se uma teoria ou outra é mais ou menos verdadeira, e a possibilidade de divisão da verba também evidencia essa preocupação.

Assim, de acordo com os aspectos de natureza da ciência derivados da análise de Chen (2006), e destacados na análise da seção anterior como aqueles que tiveram as maiores mudanças entre os questionários pré e pós (Tabela 22 da seção 7.1), na leitura e análise da produção textual do edital de pesquisa da comissão da banca, encontramos evidências que reforçam os seguintes aspectos (Tabela 23):

Tabela 23 - Aspectos evidenciados no Edital de Pesquisa

Categoria	Posição filosófica	Resultado final (pós-teste) entre	Descrição do item do questionário pós-teste	Aspectos correspondentes no edital de pesquisa
Subjetividade	Neutralidade	C - CT	Duas teorias podem oferecer explicações sob diferentes perspectivas, não há certo ou errado.	Possibilidade de divisão da verba para os dois grupos
Validação do conhecimento	Evidência empírica	C - CT	Papel da experimentação na validação do conhecimento.	Critérios de avaliação: 3. Conexão experimento-teoria; 7. Execução do experimento; 8. Explicação do experimento;
Objetividade	Como um todo	DT - D	Há apenas uma verdade; os cientistas não aceitam duas teorias enquanto não distinguirem qual é melhor.	Possibilidade de divisão da verba para os dois grupos

Fonte: A autora

Para interpretar a tabela, com o exemplo da primeira linha, temos que a categoria de subjetividade da ciência, que evidencia uma posição filosófica de neutralidade e que expressa a ideia de que duas teorias podem oferecer explicações sob diferentes perspectivas, teve como resultado do questionário pós um posicionamento dos alunos entre concordo e concordo totalmente. Esse posicionamento é evidenciado na escrita do edital de pesquisa pela possibilidade de divisão da verba para os dois grupos.

A concordância com o aspecto denominado como neutralidade e a discordância com o aspecto da objetividade como um todo, são corroborados com os elementos identificados no texto em relação a não preocupação de distinção entre a melhor teoria, ou mais correta, e sim na análise ponderada de suas bases, com a possibilidade, inclusive, de divisão da verba.

7.2.2 Análise do artigo científico do grupo da teoria ondulatória

Os integrantes do grupo que defendeu a teoria ondulatória da luz elaboraram um artigo científico de 7 páginas, seguindo o modelo proposto em sala de aula. Na estrutura do artigo encontramos o resumo, introdução, referencial teórico, atividade experimental, discussão e resultados, conclusão e referências (O artigo científico completo elaborado pelos estudantes pode ser visto no apêndice G).

Com relação à apresentação do conteúdo, os estudantes cumpriram os requisitos obrigatórios de abordar os conceitos de radiação eletromagnética, espectro eletromagnético e o experimento da dupla fenda. Além dos conceitos obrigatórios, o grupo mencionou também o efeito doppler da luz e o experimento do radiômetro.

As explicações conceituais contidas no artigo produzido, de maneira geral, são superficiais, mas cientificamente adequadas à teoria ondulatória ao nível do Ensino Médio. Os estudantes abordam corretamente os conceitos de radiação eletromagnética e espectro eletromagnético, sua forma de propagação no espaço e propagação de energia. Veja um trecho da escrita dos alunos:

“A luz, em sua essência, é uma forma de radiação eletromagnética, o que a classifica como uma onda e não uma partícula. A radiação eletromagnética é composta por oscilações no campo elétrico e magnético que se propagam no espaço, o que a caracteriza como uma onda. Esse comportamento ondulatório é uma das principais razões pelas quais a luz deve ser entendida como uma onda.”

Os estudantes citam também alguns fenômenos ondulatórios e conectam a teoria ondulatória à identificação de que a luz produz esses fenômenos.

“Uma das evidências mais fortes do comportamento ondulatório da luz é a sua capacidade de exibir propriedades típicas de onda, como interferência e difração. Quando a luz passa por fendas pequenas ou interage com outros feixes de luz, pode ocorrer um fenômeno conhecido como interferência, no qual as ondas podem se reforçar ou se cancelar mutuamente. Esse fenômeno não pode ser explicado de forma satisfatória por uma teoria baseada em partículas, uma vez que partículas não exibem o mesmo tipo de comportamento coletivo que as ondas apresentam. Além disso, o fenômeno da difração, no qual a luz se espalha ao passar por obstáculos, também é uma característica fundamental das ondas, mas não tem explicação convincente no modelo de partículas”

O texto também possui os elementos necessários para explicar o experimento da dupla fenda, mas apenas apresenta as informações técnicas do experimento, sem interpretar os resultados e explicar o porquê essa teoria é conflitante com o modelo corpuscular. Na apresentação do efeito doppler e do experimento do radiômetro as explicações também estão corretas, mas são superficiais. De maneira geral, esperava-se dos estudantes uma maior robustez teórica, visto que já haviam tido aulas sobre os fenômenos ondulatórios e as características de uma onda eletromagnética.

Em relação aos aspectos de natureza da ciência, a leitura do artigo foi feita buscando identificar os termos utilizados pelos alunos para afirmarem a validade da teoria defendida. Termos como comprovar, afirmar e provar foram considerados como inadequados e ingênuos e os termos semelhantes à demonstrar, evidenciar, corroborar e manifestar foram consideradas formas adequadas de posicionar a validade da teoria.

Neste texto, encontramos 5 alegações para legitimar a teoria feitas com termos alinhados com uma compreensão ingênua da natureza da ciência e 22 alegações com termos alinhados com uma compreensão mais informada da natureza da ciência. Essa indicação, aparentemente positiva, merece uma análise mais cautelosa que faremos comparando com os termos utilizados na simulação da

banca. A reticência em relação ao resultado se deve ao fato de não ter sido exigido originalidade no texto dos estudantes.

O processo de pesquisa e elaboração do texto exigiu, certamente, um cuidado dos estudantes com relação aos termos e conceitos, e foram incluídos aqueles os quais consideravam adequados. No entanto, não podemos afirmar, ainda, que a utilização desses termos é proveniente de uma reflexão sobre o significado dessas palavras no âmbito da natureza da ciência.

Por fim, destacamos que a postura do grupo em relação a assumir apenas as características ondulatórias da luz, e a utilização de elementos para falsear a teoria adversária, a mesma postura demonstrada na simulação da banca de avaliação, foi reforçada no texto. Veja um trecho da conclusão do texto:

“Os estudos apresentados ao longo deste artigo reforçam a natureza ondulatória da luz, consolidada por evidências experimentais e teóricas. Fenômenos como a interferência e a difração, demonstrados nos experimentos de Thomas Young, e o efeito Doppler, que explica o deslocamento da frequência da luz em função do movimento relativo entre fonte e observador, são características exclusivamente associadas ao comportamento de ondas.

Além disso, as propriedades fundamentais da radiação eletromagnética, como frequência e comprimento de onda, corroboram a teoria ondulatória, uma vez que essas características são incompatíveis com o modelo corpuscular tradicional. A análise crítica de experimentos, como o radiômetro, reforça a ideia de que evidências supostamente corpusculares podem refletir fenômenos termodinâmicos ou outras propriedades físicas que não invalidam a teoria ondulatória.”

Não podemos afirmar que a proposta de falsear a teoria adversária é anti-científica, uma vez que os estudantes a fazem, ao menos no texto, com uma postura de incompatibilidade entre evidências e teorias. Ao final do texto os alunos apresentaram a lista de referências utilizadas para a construção do artigo científico.

Assim, de acordo com os aspectos de natureza da ciência derivados da análise de Chen (2006), e destacados na análise da seção 7.1 (Tabela 22) como aqueles que tiveram as maiores mudanças entre os questionários pré e pós, na leitura e análise da produção textual do artigo científico do grupo da teoria ondulatória, encontramos evidências que reforçam os seguintes aspectos (Tabela 24):

Tabela 24 - Aspectos evidenciados no Artigo Científico do grupo da teoria ondulatória

Categoria	Posição filosófica	Resultado final (pós-teste) entre	Descrição do item do questionário pós-teste	Aspectos correspondentes no edital de pesquisa
Tentatividade	Evolucionário	C - CT	A teoria irá evoluir cada vez mais acurada e completa	Apresentam aspectos de reformulação de teorias
Validação do conhecimento	Evidência empírica	C - CT	Papel da experimentação na validação do conhecimento.	Resultados experimentais usados na validação a teoria
Validação do conhecimento	Paradigma	D - I	Tendência de aceitar novas teorias que desviem menos do campo teórico contemporâneo das teorias científicas já estabelecidas	Proposta de uma teoria conflitante com a teoria corpuscular. Ruptura do conhecimento.

Fonte: A autora

Por exemplo, a concordância com o aspecto da tentatividade da ciência, resultado obtido no questionário VOSE, é corroborado com a apresentação de aspectos de reformulação da teoria corpuscular para uma teoria ondulatória da luz. Já a concordância com a validação do conhecimento pela apresentação de evidências empíricas e é ratificada no texto, assim como destacado nos trechos anteriormente, e a discordância com o aspecto da aceitação das teorias que não desviem do paradigma contemporâneo também foi evidenciado ao apresentarem aspectos de teorias conflitantes, sinalizando a necessidade da ruptura com as teorias já estabelecidas.

7.2.3 Análise do artigo científico do grupo da teoria corpuscular

O grupo que defendeu a teoria corpuscular da luz elaborou um artigo científico com 13 páginas, seguindo o modelo proposto em sala de aula. Na estrutura do artigo encontramos resumo, introdução, referencial teórico, atividade experimental, discussão e resultados, conclusão e referências (O artigo científico completo elaborado pelos estudantes pode ser visto no apêndice H).

Com relação à apresentação do conteúdo, os estudantes cumpriram os requisitos obrigatórios de abordar os conceitos de quantização de energia e sua relação com a frequência e a explicação do efeito fotoelétrico. Além dos conceitos obrigatórios, o grupo mencionou também o efeito Compton, mas sem muito aprofundamento, e a teoria corpuscular de Newton.

As explicações conceituais contidas no artigo produzido, de maneira geral, são cientificamente adequadas à teoria corpuscular e adequadas ao nível de ensino. Os estudantes abordam corretamente o conceito de quantização de energia e a sua dependência com a frequência. Veja um trecho da escrita dos alunos:

“A teoria corpuscular da luz, proposta inicialmente por Isaac Newton e reformulada com base na teoria quântica, considera a luz como composta por partículas denominadas fótons. Esta abordagem foi consolidada com os trabalhos de Albert Einstein sobre o efeito fotoelétrico, que demonstraram que a luz apresenta comportamento tanto corpuscular quanto ondulatório (dualidade onda-partícula). Abaixo estão as principais características dessa teoria em relação à propagação, quantização da energia e relação com a frequência:”

O texto também possui os elementos necessários para explicar o efeito fotoelétrico, apresenta a equação para o cálculo da energia dos fótons e a função trabalho. Os estudantes também incluíram a aplicabilidade tecnológica do efeito fotoelétrico nas células fotovoltaicas de painéis solares. Veja um trecho do que os estudantes escreveram na seção da atividade experimental:

“Após a teoria apresentada e os experimentos descritos, os resultados obtidos corroboram a natureza corpuscular da luz, conforme proposto por Einstein no início do Século XX. Ao analisar o efeito fotoelétrico, observou-se que a emissão de elétrons por uma superfície metálica ocorre apenas quando a frequência da luz incidente ultrapassa um valor crítico, independente da intensidade luminosa. Essa dependência exclusiva da frequência é um indicativo direto de que a luz é composta por quantidades de energia discretas - as popularmente conhecidas como partículas - os fótons, refutando assim, a teoria de que a luz se encontraria como uma onda.”

Em relação aos aspectos de natureza da ciência, a leitura do artigo também foi feita buscando identificar os termos utilizados pelos alunos para afirmarem a validade da teoria defendida. No texto do grupo da teoria corpuscular, encontramos 2 alegações para legitimar a teoria feitas alinhados a uma compreensão mais ingênua da natureza da ciência e 9 alegações com termos alinhados a uma compreensão mais informada da natureza da ciência. Novamente, para discutir se

isso representa uma visão informada de ciência ou não, iremos complementar a análise com as falas na banca simulada.

Outro aspecto interessante proposto por este grupo é de uma seção no texto simulando a aplicação de testes experimentais. A seção “4.1 Análise Matemática e Comparações” foi escrita como se os estudantes estivessem analisando valores coletados do experimento do efeito fotoelétrico. Veja um trecho a seguir:

Além disso, a análise estatística dos dados experimentais revelou uma correlação linear entre a energia cinética dos elétrons emitidos e a frequência da luz incidente, conforme a equação de Einstein para o efeito fotoelétrico: $E_c = hf - \phi$ em que E_c é a energia cinética máxima dos elétrons e ϕ é a função trabalho do material. A função trabalho medida foi 2,10 eV, um valor consistente com a literatura.

Por fim, destacamos que a postura do grupo em relação a assumir a característica dualista da luz, a mesma postura encontrada na simulação da banca de avaliação, foi reforçada no texto de forma mais adequada. Veja um trecho da conclusão do texto:

“O trabalho alcançou os objetivos propostos ao demonstrar experimentalmente e matematicamente a quantização da luz e validar o modelo corpuscular em um contexto contemporâneo. Os resultados se mostram relevantes, pois os valores obtidos foram comparados e validados com dados de experimentos semelhantes encontrados na literatura, evidenciando sua consistência e alinhamento com os conhecimentos previamente estabelecidos.

Sendo o objetivo deste artigo desenvolver as mais diversas ideias e informações científicas a respeito da veracidade da teoria que afirma que a luz é uma partícula, faz-se necessário apontar aqui os mais diversos cenários em que essa hipótese foi colocada a prova e a defesa de porque seria, de fato, uma verdade inquestionável no meio científico. Nesse cenário é necessário respeitar a existência de teorias paralelas, destacando-se a ideia da natureza ondulatória da luz. Porém, ao mesmo tempo, a incapacidade de afirmar com veemência a explicação dos experimentos aqui apresentados mostra-se a grande fragilidade dessa segunda visão”.

O primeiro parágrafo diz respeito às atitudes de cientistas para assegurar-se de seus resultados. Como foi exigido dos estudantes que assumissem a postura de cientistas, é interessante notar como escreveram da perspectiva de que realizaram testes e os valores condizem com a literatura. Esse trecho ressalta a importância dada por eles para a revisão de literatura e dos pares.

O segundo parágrafo, por mais que confuso, me parece fazer menção ao aspecto complementar entre as teorias. A interpretação que tive foi de que faz-se

necessário colocar à prova a tese de que a teoria defendida seria uma verdade absoluta. Ao colocar a teoria à prova, têm-se respeito pela teoria paralela, mas apresenta-se a fragilidade dela ao não conseguir explicar os experimentos citados. Tanto a teoria corpuscular, quanto a teoria ondulatória isoladamente não são capazes de fornecerem explicações para todos os fenômenos considerados.

Ao final do texto os alunos apresentaram a lista de referências utilizadas para a construção do artigo científico.

Assim, de acordo com os aspectos de natureza da ciência derivados da análise de Chen (2006), e destacados na análise da seção 7.1 (Tabela 22) como aqueles que tiveram as maiores mudanças entre os questionários pré e pós, na leitura e análise da produção textual do artigo científico do grupo da teoria corpuscular, encontramos elementos que reforçam os seguintes aspectos (Tabela 25):

Tabela 25 - Aspectos evidenciados no Artigo Científico do grupo da teoria corpuscular

Categoria	Posição filosófica	Resultado final (pós-teste) entre	Descrição do item do questionário pós-teste	Aspectos correspondentes no edital de pesquisa
Subjetividade	Neutralidade	C - CT	Duas teorias podem oferecer explicações sob diferentes perspectivas, não há certo ou errado.	Reconhecimento das duas teorias para explicar aspectos diferentes
Tentatividade	Evolucionário	C - CT	A teoria irá evoluir cada vez mais acurada e completa	Apresentam aspectos de reformulação de teorias
Validação do conhecimento	Evidência empírica	C - CT	Papel da experimentação na validação do conhecimento.	Resultados experimentais usados na validação a teoria
Objetividade	Como um todo	DT - D	Há apenas uma verdade; os cientistas não aceitam duas teorias enquanto não distinguirem qual é melhor.	Reconhecimento das duas teorias para explicar aspectos diferentes
Validação do conhecimento	Paradigma	D - I	Tendência de aceitar novas teorias que desviem menos do	Respeitam a existência de teorias paralelas

			campo teórico contemporâneo das teorias científicas já estabelecidas	
--	--	--	--	--

Fonte: A autora

Por exemplo, a concordância com o aspecto da tentatividade da ciência, resultado obtido no questionário VOSE, é corroborado com a apresentação de aspectos de reformulação da teoria corpuscular para uma teoria dual da luz. A concordância com a validação do conhecimento pela apresentação de evidências empíricas é ratificada no texto, assim como destacado nos trechos anteriormente.

Já a concordância com o aspecto denominado como neutralidade e a discordância com o aspecto da objetividade como um todo, são corroborados com os elementos identificados no texto em relação à aceitação de duas teorias para explicar aspectos diferentes e complementares da natureza.

7.3 Análise dos argumentos utilizados na banca simulada

A análise da banca será feita seguindo os momentos propostos na dinâmica, buscando rastrear as concepções de natureza da ciência explícitas e implícitas nas falas espontaneamente demonstradas pelos estudantes e os conceitos físicos utilizados.

A apresentação inicial do grupo que defendeu a teoria da luz como um fóton, realizada pelas alunas A5 e A2, abordou os conceitos físicos de quantização de energia e do efeito fotoelétrico corretamente, apresentando-os de maneira adequada ao nível de ensino. Também trouxeram exemplos de aplicações tecnológicas que são possíveis por causa da interação da luz com a matéria de maneira localizada. Em relação aos termos utilizados para validar a teoria, identificamos as falas “aspectos que apontam fortemente para a sua natureza corpuscular”, “não pode ser explicada apenas pela teoria ondulatória” e “fortalece o princípio da luz como partícula”. Esses termos estão alinhados com uma compreensão mais informada da natureza da ciência.

A apresentação das evidências empíricas foi realizada pelos estudantes A6, A7 e A8, que apresentaram um vídeo para demonstrar o efeito fotoelétrico. Na fala

inicial dos estudantes, eles citaram as contribuições de Heinrich Hertz, que primeiro observou o efeito, a explicação de Albert Einstein com base na proposta teórica de Max Planck. Aqui vemos aspectos da preocupação de retratar as diversas contribuições de cientistas no estudo de um fenômeno. A fala desses estudantes encerrou a apresentação inicial do grupo da luz como fóton.

O segundo grupo, que defendeu a natureza da luz como onda, contou com a apresentação dos alunos A9 e A10. O estudante A9 inicia a sua fala apresentando a inconsistência das evidências da dupla refração da luz com o modelo corpuscular da luz de Isaac Newton e a proposta ondulatória de Christiaan Huygens. O aluno cita também algumas aplicações tecnológicas que dependem da propagação da luz em forma de onda. Na sequência, a aluna A10 faz a sua explicação sobre as características das ondas eletromagnéticas e do espectro eletromagnético.

Os conceitos físicos foram apresentados corretamente, embora de maneira mais simples do que esperávamos, levando em consideração que esses conceitos já tinham sido estudados por eles no ano anterior. Em relação às alegações de validade da teoria, encontramos apenas uma fala direta nessa primeira parte, “a luz se comporta como uma onda”. Essa alegação é feita de acordo com princípios informados sobre a natureza da ciência.

No entanto, destacamos outras duas falas que representam outros aspectos de NdC. O aluno A9, em seu discurso sobre a incompatibilidade da teoria corpuscular de Newton com o efeito demonstrado, diz “Hoje em dia a gente já sabe que isso daí é mentira”, se referindo à teoria proposta por Newton. Temos também a alegação da aluna A10, que ao explicar sobre as características das ondas eletromagnéticas, diz “acredito que todo mundo já conhece, visto que o Professor ensinou isso no segundo ano”. Essas falas parecem fazer parte de uma estratégia de convencimento do grupo através de um discurso de autoridade.

Na apresentação das evidências empíricas, o aluno A11 apresentou uma versão caseira do experimento da dupla fenda e o estudante A12 explicou sobre o comportamento ondulatório dos elétrons na eletrosfera do modelo de Rutherford-Bohr e a aluna A13 falou sobre o efeito doppler. Conceitualmente, na apresentação do experimento, em uma das falas, confundiu o efeito da interferência construtiva com o conceito de crista da onda e o efeito da interferência destrutiva com o vale, mas, no entanto, nos outros momentos mencionou esses aspectos

corretamente. Na apresentação do efeito doppler, a distinção sobre o efeito alterar apenas a frequência percebida e não a frequência emitida ficou um pouco vaga.

Em relação aos aspectos de NdC, apenas o estudante A12 advogou pela distinção das teorias, os demais alunos restringiram as suas falas à apresentação dos efeitos observados, sem fazer conclusões. Nas falas de A12, temos “isso vai contra a uma concepção de partícula” e “Outro fator importante que afirma que a luz é uma onda é a questão das propriedades de interferência e difração que nem a gente demonstrou aqui”. Essa alegação se utiliza de um argumento circular que nada prova ou falsifica. O que prova o argumento é pressuposto pelo próprio argumento.

No momento dos debates, pudemos explorar um pouco mais das concepções genuínas dos estudantes pela exigência de elaboração do argumento de maneira espontânea. Alguns conceitos incompreendidos foram expostos, assim como falas de concepções internalizadas de natureza da ciência. Faremos uma análise geral de cada rodada de debates e, quando relevante, investigaremos os detalhes.

Na primeira rodada de perguntas, o grupo que defende a luz como fóton perguntou para o grupo adversário como explicam o padrão de interferência se formando mesmo quando a emissão de luz é tão fraca a ponto de emitir apenas um fóton por vez. A alegação do grupo contrário foi de que não aceitavam a ideia de fóton. Para complementar, a estudante se utiliza do modelo de De Broglie e alega que mesmo o elétron demonstra comportamento de onda. O grupo que representa a luz como fóton indica que a pergunta não foi respondida e pergunta novamente se então uma única onda poderia interferir com ela mesma. A resposta do grupo adversário utiliza de conceitos incorretos sobre interferência e diz que o padrão se forma pelos picos e vales.

A segunda rodada foi marcada por uma confusão conceitual por parte das apresentadoras do grupo da luz como fóton ao dizer que “na verdade raio-x e microondas não são luz... pelo menos não visível”. Essa fala demonstra um obstáculo conceitual em considerar a luz visível como parte do espectro eletromagnético com as mesmas propriedades das demais radiações.

Além disso, vemos na segunda e na terceira rodada do debate, um fervor retórico sobre a estratégia adotada pelos grupos e as fragilidades dos adversários. O grupo do fóton assume para a banca que optou por se basear nas duas teorias, dando a entender que estão defendendo uma teoria dual. Essa estratégia do grupo

por parcimônia e de equidade entre as propostas dos dois grupos demonstra uma visão informada de ciência e uma intenção de resolver o debate de maneira ponderada.

No entanto, vemos uma estratégia mais provocadora do grupo da luz como onda, especialmente no trecho em que a aluna A10 (G.O.) afirma “E eu só posso assumir que o fato de que vocês fizeram os dois é que não tem evidência o bastante pra sustentar o de vocês sozinho”. Aqui as visões de ciência e estratégias de convencimento se misturam. Não podemos afirmar que a fala da aluna foi no sentido de realmente acreditar na superioridade da teoria defendida pelo grupo, ou apenas uma estratégia para convencer a banca. Buscaremos responder essa questão na análise dos depoimentos.

A quarta rodada do debate girou em torno de argumentos por uma via negativa, em que os estudantes argumentam pela falsificação da posição contrária. O grupo que defendeu a luz como onda soube explorar as inconsistências também presente nas falas do grupo adversário

“Primeiramente, eu não argumentei que era uma onda, eu argumentei que não era uma partícula e Newton estava errado quanto a isso. Mas também não significa que Huygens estava 100 % certo que era uma onda. Só não era uma partícula.” - A9

Houve ainda um adendo da aluna A10: “Então, esse argumento serviu simplesmente pra enfraquecer as evidências de partículas, visto que uma delas, que foi confundida com uma evidência de partículas, na verdade é só evidência de termodinâmica”. Isso demonstra uma tentativa do grupo em usar uma abordagem falsificacionista, onde ao invés de demonstrar a validade da sua teoria, opta por tentar denunciar que a teoria contrária não explica as evidências.

Por fim, houve o questionamento da banca ao grupo que defendeu a luz como fóton sobre a escolha de ter trazido as duas teorias como válidas e não ter explicado as especificidades da sua própria, uma vez que eles estavam ali para defender uma ideia específica e tinham o ônus da prova sobre ela. Percebemos que o grupo não incorporou uma teoria dualista pois não soube demonstrar quais eram as diferenças entre uma teoria dual e uma teoria puramente ondulatória.

Na fala das considerações finais do grupo que defendeu a luz como fóton, notamos que há novamente o discurso de aceitação de ambas as teorias. As

estudantes demonstraram, na afirmação de que “toda forma de estudo é válida”, o aspecto subjetivo da ciência de aceitação de teorias concorrentes. No entanto, para finalizar a sua fala, faz uso de um termo alinhado a uma concepção ingênua de natureza da ciência ao dizer que “afirmamos que a luz é um fóton ou uma partícula”.

As considerações finais do grupo da teoria ondulatória seguem a lógica argumentativa adotada de falsificação da teoria do grupo adversário. Alegam, por argumento de autoridade, que sua teoria é “mais popularmente usada” e “mais aceita”, e reforçam que o experimento do radiômetro refuta evidências de uma teoria corpuscular.

Assim, podemos observar que, em relação aos aspectos conceituais, na fala dos estudantes durante as rodadas de debate da banca, alguns obstáculos conceituais foram explicitados. Em relação aos conceitos ondulatórios observamos um equívoco em relacionar as franjas claras do padrão de interferência como a crista da onda e as franjas escuras como representando os vales. Em relação ao espectro eletromagnético, notou-se a presença de uma concepção alternativa de que a luz é diferente das outras radiações do espectro eletromagnético em propriedades além do comprimento de onda e da frequência. O conceito da quantização de emissão de energia da luz apresentou alguns obstáculos de aprendizagem, identificado nas perguntas do grupo que defendia a luz como onda e na falta de uma argumentação incisiva sobre essa propriedade pelo grupo que defendeu a luz como fóton.

Em relação aos aspectos de natureza da ciência, notamos que o grupo que defendeu a ideia de fóton adotou termos alinhados com uma compreensão mais informada da natureza da ciência, usando na maioria das alegações o termo “explicar” uma teoria. No entanto, outro termo que aparece com uma frequência considerada é o termo “comprovar”, que remete a uma visão menos informada, mas não completamente ingênua, como o termo “afirmar”, por exemplo.

O grupo que defendeu a natureza da luz como uma onda fez uso de quantidades semelhantes de termos considerados informados e ingênuos, não podendo afirmar, com base na argumentação utilizada no dia da simulação da banca de avaliação, que os estudantes refletiram sobre esses aspectos de NdC. Além disso, a estratégia adotada por este grupo foi de convencimento da banca por uma argumentação mais incisiva, a escolha dos termos pode ter sido, mesmo que inconsciente, nesse sentido.

7.4 Análise dos depoimentos finais

Por conta da grande quantidade de alunos ausentes no último dia da sequência didática, a conversa de encerramento foi transformada em questões abertas no questionário final com intenção de coletar depoimentos dos estudantes em relação à realização da atividade e as reflexões de cada um sobre os conceitos físicos abordados e de natureza da ciência.

A primeira pergunta realizada abordou os conceitos físicos. “Me conte brevemente o que você aprendeu com essa atividade em relação aos conceitos físicos envolvidos. Cite alguma curiosidade que lhe chamou atenção, alguma reflexão e ou surpresa que teve ao estudar sobre a luz”. Algumas das respostas, consideradas mais completas do ponto de vista desta pesquisa, são citadas a seguir:

“Compreendi melhor os conceitos que cercam a natureza da luz, sabendo como os diferentes fenômenos que envolvem a luz devem ser compreendidos a partir de teorias específicas. A verdadeira comprovação das teorias e a dualidade aplicada pela luz fez com que pudesse conhecer mais profundamente os fenômenos citados. Uma curiosidade que me chamou atenção foi o fato de a conclusão depois de tantos anos de estudo e defesa de ambas as teorias, a luz ter seu comportamento aceito para ambas as teorias” - A6 (G.F.)

“Aprendi que em algumas ocasiões, a ciência pode acabar por utilizar de duas teorias ao mesmo tempo para termos um melhor entendimento de algo que ainda não temos capacidade de compreender totalmente. Me surpreendi ao ver tantas pesquisas e experimentos que podem ser desenvolvidos para entender melhor uma coisa tão comum no nosso dia a dia quanto à luz.” - A15 (G.O.)

“Eu aprendi sobre a dualidade da luz, uma vez que durante o ensino médio tinha apenas visto a luz como uma onda. Assim, pude compreender os fenômenos dela que são explicados pelas suas naturezas. Achei muito legal saber que Einstein ganhou o Nobel pelo efeito fotoelétrico e não pela sua grande pesquisa sobre relatividade” - A5 (G.F.)

“Foi legal participar de um debate, nunca tinha participado de um. Também foi interessante ver o lado da partícula, pois na escola não vemos isso, apenas a teoria dela como onda. No fim, gostei de ver como ambas as teorias explicam pelo menos uma parte do problema” A16 (C.B.)

“Aprendi a explicação do experimento da dupla fenda e do radiômetro, além da história do pensamento da física quanto à luz. Achei curioso como a luz é empregada como partícula em dispositivos tecnológicos, mas possui uma robustez teórica maior como onda” - A4 (C.B.)

“Aprendi que até hoje, enquanto teorias novas não são desenvolvidas, podemos aceitar as divergências de teorias. Fiquei surpreso como dependendo do método utilizado, a luz apresentará comportamentos de onda e de partícula ao mesmo tempo” - A7 (G.F.)

“Muito curioso nós ainda não conseguirmos de fato entender o comportamento da luz como algo único. Quem sabe possa existir mais "coisas" que possuam esse comportamento dual” - A2 (G.F.)

“Aprendi mais sobre o spin e a propriedade das partículas subatômicas. Achei interessante o fóton ser também uma partícula que transmite uma força” A12 (G.O.)

Podemos perceber que uma atividade de pesquisa e protagonismo dos estudantes proporcionou conhecimentos que vão além daqueles elencados como obrigatórios. Os estudantes trouxeram informações sobre o experimento do radiômetro, o efeito doppler luminoso e até o estudo de spin e da dualidade do elétron em suas pesquisas. Além dos elementos conceituais, os estudantes destacaram ter gostado de explorar a natureza da luz como fóton e avançar na sua compreensão como um todo, evidenciando que só conheciam uma parte desse conceito, que é a parte da onda eletromagnética.

A pergunta discursiva a respeito da natureza da ciência e dos embates entre teorias, “O que você aprendeu sobre teorias concorrentes na ciência e sobre a postura dos cientistas diante de duas possíveis teorias divergentes que tentam explicar o mesmo aspecto da natureza?”, teve, entre as respostas mais completas, as que seguem:

“Apesar de ainda existir muito debate em relação a qual teoria deve ser aceita no meio científico, as duas teorias podem coexistir até que uma nova teoria mais aceita seja desenvolvida para substituir as existentes” - A7 (G.F.)

“Aprendi que alguns fenômenos na ciência podem ser explicados por mais de uma teoria e isso não significa dizer que uma delas está errada, mas sim que elas se complementam e explicam a ideia como um todo” - A5 (G.F.)

“Aprendi que a partir de duas teorias concorrentes entre si existe uma margem de evolução maior para ambas, facilitando a criação de evidências e argumentos que possam defender as suas teorias” - A6 (G.F.)

“Aprendi que as duas teorias podem estar corretas ao mesmo tempo e que os cientistas as utilizarão a teoria que mais convém a eles em cada momento para a realização do experimento científico” - A17 (C.B.)

“Aprendi que os cientistas devem se manter “sãos” ao realizar pesquisas que podem ter mais de uma teoria explicando o fenômeno, para obterem o melhor resultado possível no cenário” - A15 (G.O.)

“Os cientistas irão testar as teorias independentemente de suas crenças e apesar de não concordar totalmente acabam por ainda inclui-las por não conseguir refutar” - A2 (G.F.)

“Aprendi que, embora sejam teorias distintas, ambas podem ser vistas de maneira cooperativa a favor do avanço do estudo científico” - A4 (C.B.)

“Que as duas podem ser dois lados de uma mesma moeda e enquanto não há provas que refutam uma, as duas devem ser consideradas” - A12 (G.O.)

“Que apesar de parecer inútil, a discussão de ideias é um dos processos mais importantes da descoberta científica” - A10 (G.O.)

“Percebi que não tem como ter certeza absoluta de qual teoria é a correta” - A18 (C.B.)

“Aprendi que sempre é bom ouvir o outro lado ou outras opiniões” - A8 (G.F.)

As respostas dos estudantes evidenciam que, mesmo adotando uma estratégia de defender uma única teoria, como foi o caso do grupo da natureza ondulatória, eles reconhecem que duas teorias podem coexistir e se complementar, explicando aspectos diferentes sob perspectivas diferentes. Aqui vemos depoimentos de estudantes que argumentaram no debate pela superioridade da teoria defendida, inclusive com o uso de palavras como “um lado absoluto”, mas que aqui, em um cenário isento de disputa, admitem que as duas teorias devem ser consideradas.

Em relação ao desenvolvimento da atividade como um todo, a seguinte pergunta foi formulada: “Me conte brevemente o que você achou da atividade desenvolvida. Comente o que achar relevante sobre a organização, a dinâmica de argumentação de ideias e os aprendizados durante as atividades”. Das respostas, destacamos:

“A banca foi muito legal, pude aprender novos conceitos e desenvolver habilidades de debate. A organização feita pelo júri foi boa e os tempos para pergunta e resposta estavam de acordo com o que precisávamos falar. Além disso, debater a dualidade da luz fez com que eu aprendesse muito mais sobre” - A5 (G.F.)

“Acredito que a atividade serviu mais como um modo de enxergarmos que mais de uma teoria pode estar certa do que um debate para aprender o conteúdo em si. Acredito que foi muito proveitoso e o propósito foi cumprido com excelência e com ótima ministração” - A7 (G.F.)

“Achei uma atividade bem interessante que desenvolveu a habilidade de pesquisa e argumentação entre os alunos. A organização do júri e os momentos argumentativos de cada grupo foram bem coerentes com a ideia de um debate de ideias entre as duas teorias” - A6 (G.F.)

“Achei bem legal e divertido, mas acho que se tivesse que melhorar alguma coisa, eu aumentaria o tempo, já que talvez, o debate poderia ter tido alguns argumentos melhores desenvolvidos, ou alguns que não foram citados, e perguntas mais elaboradas” - A15 (G.O.)

“Gostei da proposta de um debate entre os alunos, sendo uma dinâmica bem interessante e produtiva para o debate científico. A ideia de trazer experimentos e ideias que comprovem as teorias do grupo é extremamente relevante” - A17 (C.B.)

“Eu acho que um debate foi a forma mais eficiente de “forçar” os alunos a estudar, pois a incerteza quanto às perguntas da discussão proporcionou a pesquisa mais completa e cuidadosa” - A10 (G.O.)

“Muito interessante, é uma atividade que deveria ser replicada mais vezes pois desenvolve capacidades de debate e argumentação, fora o aprendizado na hora de se aprofundar no conteúdo” - A18 (C.B.)

“Achei interessante a maneira que a atividade foi montada e distribuída aos alunos, bastante cooperação entre alguns membros, além de pesquisas que ajudaram na verificação de teorias” - A19 (C.B.)

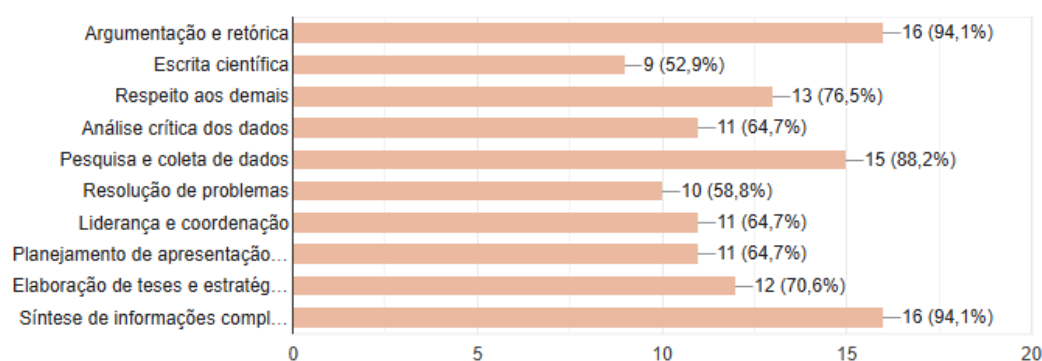
“Achei bem legal, só acho que poderia ter mais flexibilização no tempo de fala pois todas as ideias são válidas e devem ser ouvidas” - A12 (G.O.)

“Achei uma dinâmica muito interessante em geral. Creio que mais réplicas/tréplicas tornariam o debate mais produtivo” - A4 (C.B.)

Foi interessante perceber através das respostas, que os estudantes mesmo citaram as habilidades de argumentação, pesquisa e cooperação como algo positivo da atividade. Outro fator curioso foi que, mesmo com 1 hora e 30 minutos de debate, os estudantes consideraram que a dinâmica poderia ter tido mais tempo, sinalizando o grande envolvimento deles.

A última pergunta do questionário solicitou ao estudante: “Selecione abaixo a(as) habilidade(s) que você acredita que foram necessárias ou que foram desenvolvidas/aprimoradas durante as atividades”. A questão possibilitava a seleção de mais de um aspecto como resposta. Na figura 13, podemos visualizar a frequência de escolha das opções disponíveis.

Figura 13 - Resposta da questão 15 do questionário pós



Fonte: A autora

Os itens mais citados foram a argumentação e retórica, síntese de informações complexas e pesquisa e coleta de dados, quase unanimidade entre os 17 respondentes. O item com menor adesão foi a escrita científica. Podemos interpretar essa baixa adesão como uma consequência dos integrantes da comissão da banca não terem precisado escrever um documento tão elaborado.

O reconhecimento dos próprios estudantes acerca das habilidades que exercitam durante a simulação proposta está de acordo com os referenciais teóricos de atividades de debate e corroboram a alegação de importância da implementação desse tipo de prática no ensino.

8. Considerações finais

Este trabalho apresentou uma série de aspectos que caracterizam uma visão ampla e sofisticada da natureza da ciência, destacando a importância de compreendê-las de forma complementar. No contexto do ensino, torna-se essencial considerar essas dimensões da natureza da ciência, uma vez que elas oferecem subsídios valiosos para a construção de práticas pedagógicas mais críticas e fundamentadas.

Nesse contexto, os conflitos entre modelos explicativos, as mudanças de paradigmas e os debates no interior da comunidade científica despertaram o interesse pelas reflexões desencadeadas pelo estudo da luz e das transformações teóricas que acompanharam sua compreensão ao longo da história da ciência. O estudo desse tema revelou-se particularmente frutífero em proporcionar um espaço para discussões epistemológicas no ambiente escolar.

Assim, o objetivo deste trabalho consistiu em *analisar de que maneira a sequência didática, pautada na história e filosofia da ciência, que culmina em uma atividade de júri simulado sobre a natureza da luz pode contribuir para a construção de concepções mais informadas sobre a natureza da ciência*. A proposta buscou articular conteúdo científico, contexto histórico e reflexão filosófica, promovendo um ensino de Física que valorize a construção ativa do conhecimento pelos estudantes e o desenvolvimento do pensamento crítico sobre a ciência.

Para contemplar o objetivo geral desta pesquisa, foram definidos objetivos específicos, que orientaram o desenvolvimento desse trabalho e foram abordados ao longo de cada um dos capítulos anteriores. Os objetivos e as justificativas para a realização da pesquisa foram apresentados no capítulo introdutório (Capítulo 1).

No segundo capítulo tivemos como objetivo apresentar uma discussão epistemológica abordando aspectos da natureza da ciência do ponto de vista do ensino de ciências (primeiro objetivo específico desta pesquisa). Para isso, delineamos duas visões epistemológicas distintas — o indutivismo ingênuo, de base empírico-indutiva, e o falsificacionismo, conforme proposto por Karl Popper — com o objetivo de evidenciar seus principais contrastes. Ao promover essa comparação, buscamos superar concepções simplistas sobre o fazer científico, favorecendo uma abordagem mais crítica e reflexiva no ensino, que permitisse aos estudantes

compreender a ciência como uma atividade dinâmica, provisória e em constante construção. Além disso, buscamos algumas referências para a implementação de HFC e NdC no ensino de ciências e finalizamos comparando as recomendações dos pesquisadores com as recomendações curriculares para o Ensino Médio no Brasil.

A fundamentação didática e conceitual deste trabalho de pesquisa foi apresentada no terceiro e no quarto capítulo, respectivamente. A fundamentação didática está embasada em aprendizagem ativa sob uma perspectiva construtivista, investigando os benefícios de atividades de debates e simulação (segundo objetivo específico). Já a fundamentação conceitual buscou trazer elementos para a discussão sobre a natureza da luz, sob a perspectiva da física e da filosofia da ciência (terceiro objetivo específico). Estes três capítulos de fundamentação tiveram como finalidade proporcionar embasamento para a elaboração, aplicação e avaliação da sequência didática sobre a natureza da luz abordando a natureza da ciência (quarto objetivo específico desta pesquisa) e para a análise dos conhecimentos e limitações dos conceitos físicos de onda, corpúsculo e dualidade da luz, demonstrado por eles nos materiais escritos e na atividade de júri (sexto objetivo específico).

A metodologia de pesquisa, apresentada no quinto capítulo, consistiu em uma abordagem mista integrativa de métodos quantitativos e qualitativos. O questionário aplicado pré e pós a realização da sequência didática foi analisado de maneira quantitativa buscando rastrear o tamanho de efeito e a significância entre as respostas pré e pós. Essas respostas foram avaliadas com base nos critérios definidos por Chen (2006). A produção textual dos estudantes e as falas durante a simulação da banca de avaliação foram avaliadas de maneira qualitativa, cruzando com as indicações da análise dos questionários. Estes instrumentos contribuíram com a identificação das concepções prévias dos estudantes, bem como com o acompanhamento das nuances e modificações ao longo do desenvolvimento da sequência didática (quinto objetivo específico).

Por fim, a análise dos questionários foi apresentada no capítulo 7 revelou que a concepção dos estudantes de alguns aspectos de natureza da ciência, ao final da sequência didática, estavam mais próximas do que é considerado pela literatura como uma visão informada da NdC. Em especial, destacamos o aspecto evolucionário do conhecimento científico, o processo de validação e aceitação de

teorias concorrentes, o papel da imaginação e a validação do conhecimento através de evidências empíricas. Esses aspectos foram corroborados nas análises cruzadas da produção textual dos estudantes e da argumentação durante a banca simulada.

A valorização da argumentação científica se revelou central, assim como a mobilização de diferentes concepções sobre a natureza da ciência. Notamos, especialmente, um amadurecimento na forma como os estudantes passaram a compreender a ciência: menos como uma sequência linear de descobertas e mais como um processo em constante construção, permeado por debates, conflitos e influências históricas.

Durante a banca simulada também, notamos dois movimentos de especial interesse. Um dos grupos optou por uma abordagem cautelosa e integrativa de ambas as teorias, buscando contemplar a natureza dual da luz e demonstrando uma visão de ciência de uma comunidade científica colaborativa. O outro grupo optou por incorporar o papel de tentar refutar as propostas do outro grupo, evidenciando o processo de validação do conhecimento científico com uma postura de incompatibilidade entre evidências e teorias, o que também é parte da evolução dos conhecimentos científicos.

Ademais, podemos destacar que uma atividade que propõe o protagonismo dos estudantes se configurou como um espaço fértil para o engajamento deles, podendo confrontar ideias, exercitar a argumentação e refletir sobre diferentes interpretações da natureza da luz. Nesse ambiente, se fez mais evidente também as concepções alternativas dos conceitos utilizados, uma vez que na elaboração “improvisada” dos argumentos pudemos perceber alguns conceitos errôneos que não apareceram nas produções escritas, por exemplo.

A análise dos dados evidenciou, no entanto, uma limitação desta sequência didática em relação aos aspectos de NdC referentes à metodologia da ciência e às definições de (ou distinções entre) leis e teorias. Esses aspectos não foram discutidos durante a sequência didática e, ao final, a concepção ingênua permaneceu. A discussão desse aspecto pode facilmente ser implementada em aplicações futuras.

A metodologia de análise de dados do questionário com uma quantidade amostral pequena foi, de certa maneira, uma limitação deste estudo. Se tivéssemos uma amostra maior, a análise dos questionários poderia traçar mais precisamente, as mudanças entre as respostas pré e pós desenvolvimento da atividade. Além

disso, as limitações dos instrumentos de coleta de dados pelos registros escritos e gravações de áudio, podem ter deixado escapar aspectos sutis das interações em sala de aula. A restrição de tempo para aplicar toda a sequência como planejado, em especial a realização do último encontro, impactou a conclusão de algumas atividades e a maturação de certos debates.

Um dos principais resultados deste trabalho é justamente a constatação de que a sequência didática — por articular conteúdos históricos, estratégias dialógicas e protagonismo estudantil — contribuiu de forma expressiva para o desenvolvimento de concepções mais elaboradas sobre a NdC. Os estudantes passaram a compreender, de forma mais clara, que a ciência é atravessada por múltiplas influências e que o conhecimento científico, muitas vezes, é resultado de disputas interpretativas e não de uma simples observação neutra da realidade.

O desenvolvimento desta pesquisa foi, em si, um exercício contínuo de análise e reflexão. Desde os primeiros esboços da sequência didática, passando pela sua aplicação em sala de aula, até o mergulho nos registros produzidos pelos estudantes, cada etapa revelou camadas de significação e aprendizagem. A proposta, se mostrou decisiva para ampliar a escuta das vozes estudantis e compreender suas concepções sobre o empreendimento científico.

A elaboração do produto educacional concomitante ao desenvolvimento deste estudo tem por objetivo que o resultado destas reflexões sejam impulsionados para outros contextos educacionais. Esperamos que essa sequência didática convide professores e estudantes a vivenciarem a ciência em sua dimensão humana, histórica e argumentativa. A estrutura da proposta e, sobretudo, a realização do júri simulado, mostram-se estratégias frutíferas para promover uma aprendizagem significativa e crítica, com possibilidades de adaptação para outros temas igualmente controversos na história da ciência.

Esta pesquisa revelou que é possível — e necessário — tratar da ciência em sala de aula de forma mais autêntica, crítica e dialógica. A proposta construída, ainda que não definitiva, aponta caminhos para um ensino que considera os estudantes como sujeitos pensantes, capazes de questionar e de se posicionar diante do conhecimento. Ao mesmo tempo, este trabalho reforça a importância de investir em propostas que tornem a ciência mais próxima da vida e das perguntas reais dos alunos — afinal, é nesse movimento que o ensino ganha sentido e potência.

REFERÊNCIAS

ABD-EL-KHALICK, Fouad *et al.* Representations of nature of science in high school chemistry textbooks over the past four decades. **Journal Of Research In Science Teaching**, [S.L.], v. 45, n. 7, p. 835-855, 23 maio 2008.

ABD-EL-KHALICK, Fouad; LEDERMAN, Norman G.. Research on Teaching, Learning, and Assessment of Nature of Science. **Handbook Of Research On Science Education**, [S.L.], p. 850-898, 25 jan. 2023.

ABMES. **Portaria MEC nº 1.432, de 28 de dezembro de 2018**. Brasília/DF, 2019.

ALMEIDA, Adelves de Souza; MENEZES, Maria Cilene Freire de. A história da astronomia nos livros de ciências naturais dos anos finais do ensino fundamental do PNLD 2017-2019. **Alexandria: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia**, Florianópolis, v. 13, n. 2, p. 75-98, nov. 2020.

ALVES FILHO, José de Pinho; PINHEIRO, Terezinha Fatima. **Instrumentação para o Ensino de Física A**. Florianópolis: Editora UFSC, 2010.

ANASTASIOU, Lea das Graças Camargo; ALVES, Leonir Pessate (org.). **Processos de Ensinagem na Universidade**: pressupostos para as estratégias de trabalho em aula. 6. ed. Joinville: Univille, 2006.

BARROS, Nathalia Zanetti. **O JÚRI SIMULADO NO ENSINO DE CIÊNCIAS E MATEMÁTICA**:: uma revisão sistemática da literatura em língua portuguesa. 2022. 80 f. TCC (Graduação) - Curso de Licenciatura em Química, Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 2022.

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília, 2018.

BROCKINGTON, Guilherme. **A Realidade escondida**: a dualidade onda-partícula para estudantes do ensino médio. 2005. 268 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ensino de Ciências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

BURTON, Erin Peters; BAYNARD, Liz R. Network analysis of beliefs about the scientific enterprise: a comparison of scientists, middle school science teacher and eight-grade science students. **International Journal Of Science Education**, S.I., v. 35, n. 16, p. 2801-2837, mar. 2013.

CASTAÑON, G. A. COGNITIVISMO E RACIONALISMO CRÍTICO. **Psicologia Argumento**, [S. l.], v. 25, n. 50, p. 277–290, 2017.

CASTRO, George Anderson Macedo *et al.* Desafios para o professor de ciências e matemática revelados pelo estudo da BNCC do ensino médio. **Revista Eletrônica de Educação Matemática**, Florianópolis, v. 15, n. 2, p. 1-32, 21 jul. 2020

CHALMERS, Alan Francis. **O que é ciência afinal**. São Paulo: Editora Brasiliense, 1993.

CHEN, Sufen. Development of an Instrument to Assess Views on Nature of Science and Attitudes Toward Teaching Science. **Science & Education**, [S.I.], v. 90, n. 5, p. 803-819, abr. 2006.

COHEN, Jacob. **Statistical Power Analysis for the behavioral sciences**. 2. ed. Nova Iorque: Lea, 1988.

DRIVER, Rosalind; NEWTON, Paul; OSBORNE, Jonathan. Establishing the norms of scientific argumentation in classrooms. **Science Education**, S.I., v. 84, n. 3, p. 287-312, abr. 2000.

FORATO, Thaís Cyrino de Mello; PIETROCOLA, Maurício; MARTINS, Roberto de Andrade. Historiografia e natureza da ciência na sala de aula. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 28, n. 1, p. 27-59, 5 jul. 2011.

GREENE, Jennifer C. *et al.* The Merits of Mixing Methods in Evaluation. **Evaluation**, S.I., v. 7, n. 1, p. 25-44, jan. 2001.

GREENE, Jennifer C.; CARACELLI, Valerie J.; GRAHAM, Wendy F.. Toward a Conceptual Framework for Mixed-Method Evaluation Designs. **Educational Evaluation And Policy Analysis**, S.I., v. 11, n. 3, p. 255-274, 1989.

GUIMARÃES, Ricardo Rangel; MASSONI, Neusa Teresinha. O USO DO MODELO PADRÃO DE ARGUMENTAÇÃO DE STEPHEN TOULMIN NO ENSINO DE CIÊNCIAS NO ÂMBITO DA DISCIPLINA DE FÍSICA: alguns resultados de pesquisa e reflexões a partir de debates em sala de aula. **Investigação em Ensino de Ciências**, S.I., v. 25, n. 3, p. 487-502, dez. 2020.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de Física - Óptica e Física Moderna - Volume 4**. 12. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2023.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTUDOS E PESQUISAS EDUCACIONAIS ANÍSIO TEIXEIRA (INEP). *Exame Nacional do Ensino Médio: prova e gabarito – 2024*. Disponível em: <https://www.gov.br/inep/pt-br/areas-de-atuacao/avaliacao-e-exames-educacionais/enem/provas-e-gabaritos/2024>

LEÃO, Denise Maria Maciel. PARADIGMAS CONTEMPORÂNEOS DE EDUCAÇÃO: escola tradicional e escola construtivista. **Cadernos de Pesquisa**, S.I., n. 107, p. 187-206, jul. 1999.

LEDERMAN, Norm G. *et al.* Views of nature of science questionnaire: toward valid and meaningful assessment of learners' conceptions of nature of science. **Journal Of Research In Science Teaching**, [S.L.], v. 39, n. 6, p. 497-521, jul. 2002.

LIMA, Marcelo Costa de. Sobre o surgimento das equações de Maxwell. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, [S.I.], v. 41, n. 4, p. 1-18, maio 2019.

MALHEIROS, Bruno Taranto. **Didática Geral**. 2. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2019.

MARTINS, André Ferrer Pinto. História e Filosofia da Ciência no ensino: Há muitas pedras nesse caminho... **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, [S. l.], v. 24, n. 1, p. 112–131, 2008.

MARTINS, Roberto de Andrade; ROSA, Pedro Sergio. **História da teoria quântica: a dualidade onda-partícula, de Einstein a De Broglie**. São Paulo: Livraria da Física, 2014.

MATTHEWS, Michael. História, filosofia e ensino de ciências: a tendência atual de reaproximação. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 12, n. 3, p. 164–214, dez. 1995.

MCSHARRY, Gabrielle; JONES, Sam. Role-play in science teaching and learning. **School Science Review**, [s. l.], v. 82, n. 298, p. 73-82, set. 2000.

MELO, Viviane Florentino de; VIEIRA, Rodrigo Drumond. Uma proposta de critérios avaliativos para atividades de Júri Simulado no Ensino de Ciências. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, [S.L.], v. 29, n. 2, p. 298-326, ago. 2022

MNPEF. Regimento do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física. **Sociedade Brasileira de Física**, São Paulo, abr. 2023.

MOREIRA, Marco Antonio; MASSONI, Neusa Teresinha. **Subsídios Epistemológicos para o Professor Pesquisador em Ensino de Ciências: epistemologias do século XX**. 2. ed. Porto Alegre: IF-UFRGS, 2016.

MORETTIN, Pedro A. **Estatística básica**. 10. ed. Rio de Janeiro: Saraiva Uni, 2023. *E-book*. p.372. ISBN 9788571441484.

MOURA, Breno Arsioli. Newton versus Huygens: como (não) ocorreu a disputa entre suas teorias para a luz. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, [S. l.], v. 33, n. 1, p. 111–141, 2016.

MOURA, Breno Arsioli. O que é natureza da Ciência e qual sua relação com a História e Filosofia da Ciência? **Revista Brasileira de História da Ciência**, Rio de Janeiro, v. 7, n. 1, p. 32-46, 11 nov. 2021

NELSON, Larry P.; CROW, Mary L. Do Active-Learning Strategies Improve Students' Critical Thinking? **Higher Education Studies**, S.I., v. 4, n. 2, p. 77-90, mar. 2014

OLIVEIRA, Rilavia Almeida de; SILVA, Ana Paula Bispo da. Temas de Natureza da Ciência a partir de episódios históricos: os debates sobre a natureza da luz na primeira metade do século XIX. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 37, n. 1, p. 197-218, abr. 2020.

OSTERMANN, Fernanda; CAVALCANTI, Cláudio José de Holanda. **Epistemologia**. Porto Alegre: Evangraf, 2011.

PÉREZ, Daniel Gil *et al.* Para uma imagem não deformada do trabalho científico. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 7, n. 2, p. 125-153, ago. 2001

PESSOA JUNIOR, Osvaldo. **Conceitos de Física Quântica**. 2. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2005.

SANTOS, Wildson L. P. dos; MORTIMER, Eduardo Fleury; SCOTT, Philip H. A ARGUMENTAÇÃO EM DISCUSSÕES SÓCIO-CIENTÍFICAS: reflexões a partir de um estudo de caso. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciência**, S.I., v. 1, n. 1, jan. 2001

SILVA, Boniek Venceslau da Cruz. **Controvérsias sobre a natureza da luz**: uma aplicação didática. 2010. 182 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós Graduação em Ensino de Ciências Naturais e Matemática, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010.

SILVA, Fabio W.O. da. A evolução da teoria ondulatória da luz e os livros didáticos. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, [S.I.], v. 24, n. 1, p. 149-159, jan. 2007.

SILVEIRA, Fernando Lang da. A filosofia da ciência de Karl Popper: o racionalismo crítico. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 13, p. 197-218, dez. 1996

TIPLER, Paul A.; MOSCA, Gene. **Física para Cientistas e Engenheiros - Vol. 2 - Eletricidade e Magnetismo, Ótica, 6ª edição**. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

TIPLER, Paul A.; LLEWELLYN, Ralph A.. **Física Moderna**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2014.

TORMAN, Vanessa Bielefeldt Leotti; COSTER, Rodrigo; RIBOLDI, João. Normalidade de variáveis: métodos de verificação e comparação de alguns testes não-paramétricos por simulação. **Revista Hcpa**, Porto Alegre, v. 32, n. 2, p. 227-234, 2012.

VITAL, Abigail; GUERRA, Andreia. A natureza da ciência no ensino de física: estratégias didáticas elaboradas por professores egressos do mestrado profissional. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, [S. l.], v. 31, n. 2, p. 225–257, 2014.

Apêndice A - Parecer Consubstanciado do CEP

UNIVERSIDADE FEDERAL DE
SANTA CATARINA - UFSC



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: Júri Simulado sobre a Natureza da Luz: uma estratégia para discutir aspectos da natureza da ciência

Pesquisador: GABRIELA KAIANA FERREIRA

Área Temática:

Versão: 2

CAAE: 83077824.0.0000.0121

Instituição Proponente: Centro de Ciências Físicas e Matemáticas

Patrocinador Principal: Universidade Federal de Santa Catarina

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 7.182.429

Apresentação do Projeto:

Dissertação de Júlia Bristot Matos do Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física, orientada por Gabriela Kaiana Ferreira.

Estudo prospectivo, com previsão de 25 participantes.

Critérios de inclusão: a escolha da turma para a aplicação da pesquisa se deu pelos seguintes critérios: Contexto educacional: Por se tratarem de alunos do terceiro ano do Ensino Médio, os estudantes já têm familiaridade com o tema, tendo estudado o conteúdo de ondulatória na disciplina de física do segundo ano e óptica na disciplina de física do terceiro ano; Perfil da Turma: Devido ao contexto atual e ao modelo de ensino vigente nas escolas, popularmente chamado de “Novo Ensino Médio”, parte da carga horária dos estudantes é direcionada para sua área de maior interesse. Os alunos da turma de Astronomia e Astrofísica da escola CETEC UCS escolheram especializar-se na área de Ciências exatas e da natureza e, logo, possuem interesse, curiosidade e simpatia pela área de pesquisa; Acesso e viabilidade: Turma com uma quantidade de estudantes adequada para a aplicação da atividade proposta (uma turma muito numerosa dificultaria a aplicação da atividade) e compatibilidade com os horários disponíveis pela pesquisadora, já que a disciplina está dentro de sua carga horária regimental.

Endereço: Universidade Federal de Santa Catarina, Prédio Reitoria II, R: Desembargador Vitor Lima, nº 222, sala 701
Bairro: Trindade **CEP:** 88.040-400
UF: SC **Município:** FLORIANOPOLIS
Telefone: (48)3721-6094 **E-mail:** cep.propesq@contato.ufsc.br

Crítérios de exclusão: dentre os critérios de exclusão, podemos citar: Não concordância com a participação da pesquisa: os estudantes que não assinarem o termos de consentimento e/ou assentimento não poderão participar da pesquisa; Falta de disponibilidade de horários: a pesquisa não será aplicada em outras turmas pela falta de disponibilidade de horários da pesquisadora em concomitância com os horários dos estudantes que são público-alvo.

Os participantes serão submetidos a: questionários, observação, registros escritos pelos estudantes.

RESUMO

Este estudo tem por objetivo analisar de que maneira a sequência didática, pautada na história e filosofia da ciência e que resulta na atividade *“Júri Simulado sobre a Natureza da Luz”*, pode contribuir para a construção de concepções mais informadas sobre a natureza da ciência aos estudantes do Ensino Médio. O uso da história e filosofia da ciência (HFC) propicia a abordagem de aspectos da natureza da ciência (NdC), demonstrando, através de um recorte real, o desenvolvimento do conhecimento científico. Além disso, formalmente, podemos discutir os mitos de uma ciência neutra, feita por gênios incorruptíveis, por meio de um único método algorítmico e rígido e etc. A estratégia de ensino por debates, como um júri simulado, permite aos participantes assumirem o papel de protagonistas do próprio aprendizado, construindo e desconstruindo os argumentos e estimulando o pensamento crítico e reflexivo. O objeto de estudo é a natureza dual da luz, conceito físico que permite discutir características da óptica, da ondulatória e da mecânica quântica e que, durante a história da física, foi alvo de surpreendentes reviravoltas. Nesse contexto, a aplicação de um júri simulado, tendo como tema um conceito controverso, será palco de discussões e reflexões de aspectos físicos e da natureza da ciência. A hipótese deste estudo é de que a discussão sobre a natureza da luz, enfatizando a dualidade onda-partícula, por meio de um júri simulado, pode contribuir para a construção de concepções mais informadas sobre a natureza da ciência. Para isso, a coleta de dados será feita através de questionários pré e pós atividade, produção textual da argumentação dos participantes e áudio-gravação do Júri para registro do debate. O tratamento das informações será de natureza quali-quantitativa, a parte quantitativa relativa às respostas objetivas do questionário, e a parte qualitativa, relativa a análise das respostas discursivas do questionário, da qualidade da argumentação na produção textual e da dinâmica.

Endereço: Universidade Federal de Santa Catarina, Prédio Reitoria II, R: Desembargador Vitor Lima, nº 222, sala 701
Bairro: Trindade **CEP:** 88.040-400
UF: SC **Município:** FLORIANOPOLIS
Telefone: (48)3721-6094 **E-mail:** cep.propesq@contato.ufsc.br

Por fim, estima-se que essa pesquisa contribuirá no processo de desenvolvimento de competências e habilidades dos participantes destacadas como essenciais no processo de ensino-aprendizagem.

Objetivo da Pesquisa:

Objetivo Primário:

Com este trabalho pretende-se alcançar o objetivo de analisar de que maneira a sequência didática, pautada na história e filosofia da ciência, que resulta na atividade júri simulado sobre a natureza da luz, pode contribuir para a construção de concepções mais informadas sobre a natureza da ciência.

Objetivo Secundário:

Para o delineamento mais detalhado da pesquisa, formulamos alguns objetivos específicos, os quais buscam por:

- 1) identificar as concepções prévias de natureza da ciência dos estudantes e suas possíveis nuances ao longo da atividade;
- 2) analisar a elaboração da argumentação durante a atividade no que diz respeito à concepção de verdades na ciência, validade da teoria e falseabilidade das hipóteses;
- 3) verificar os conhecimentos e limitações dos conceitos físicos de onda, corpúsculo e dualidade da luz, demonstrado pelos estudantes durante a atividade e construção dos textos.

Metodologia Proposta:

Natureza da pesquisa:

O projeto de pesquisa adotará como abordagem metodológica mista quali-quantitativa, visando explorar, dessa maneira, de forma mais abrangente e detalhada as questões em estudo. A escolha por uma abordagem mista, se justifica pela necessidade de captação tanto dos aspectos objetivos quanto dos subjetivos que são relacionados ao tema. Permitindo que haja uma análise mais completa e integrativa a partir dos dados que serão coletados. A parte qualitativa desta abordagem será utilizada para a compreensão do contexto em que o estudo se desenvolverá, explorando possíveis nuances, percepções e experiências que os participantes em questão poderão demonstrar ao longo do estudo. Tal método irá permitir a investigação dos significados dados pelos participantes a partir dos fenômenos que por eles serão observados, bem como será relevante para entendermos melhor suas motivações,

Endereço: Universidade Federal de Santa Catarina, Prédio Reitoria II, R: Desembargador Vitor Lima, nº 222, sala 701
Bairro: Trindade **CEP:** 88.040-400
UF: SC **Município:** FLORIANOPOLIS
Telefone: (48)3721-6094 **E-mail:** cep.propesq@contato.ufsc.br

sentimentos e interações interpessoais, desde que relevantes para o estudo. Ao mesmo tempo, a parte quantitativa da abordagem permitirá que seja mensurado e descrito características das concepções prévias dos participantes sobre ciências e suas diferentes interpretações ao longo da prática, além de nos possibilitar a encontrar e identificar possíveis correlações e diferenças entre suas respostas no contexto do estudo. Essa abordagem mista nos permitirá uma compreensão mais robusta e detalhada do objeto de estudo, sendo que dessa maneira nos será permitido um aprofundamento das questões investigadas.

Participantes:

A aplicação da pesquisa ocorrerá em uma turma com 25 alunos, com faixa etária entre 17 e 19 anos, regularmente matriculados no terceiro ano do Ensino Médio do CETEC UCS Escola de Ensino Médio e Técnico, escola mantida pela Fundação Universidade de Caxias do Sul (FUCS).

Desenvolvimento da Sequência Didática:

A sequência didática, pautada na história e filosofia da ciência, tem como objetivo a realização de um júri simulado para a discussão sobre a natureza da luz. O uso da estratégia de júri visa promover, através do debate, o desenvolvimento de habilidades de oratória e argumentação, além da reflexão crítica sobre os conceitos da natureza da luz. Para além da atividade, de forma complementar, serão abordados aspectos da natureza da ciência ao discorrer sobre os conceitos de verdade na ciência, validade de leis e teorias, neutralidade e demarcação da ciência (A descrição detalhada dos encontros está presente no documento completo).

Instrumentos

Para a coleta de dados, serão utilizados os seguintes instrumentos de pesquisa: (1) questionários; (2) gravações de áudio e observação; (3) produção escrita dos alunos. (A descrição detalhada dos instrumentos de pesquisa está presente no documento completo).

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Análise adequada dos riscos e benefícios.

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

Sem considerações adicionais.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

A folha de rosto vem assinada pelo/a pesquisador/a responsável e pela autoridade institucional competente.

Endereço: Universidade Federal de Santa Catarina, Prédio Reitoria II, R: Desembargador Vitor Lima, nº 222, sala 701
Bairro: Trindade **CEP:** 88.040-400
UF: SC **Município:** FLORIANOPOLIS
Telefone: (48)3721-6094 **E-mail:** cep.propesq@contato.ufsc.br

Continuação do Parecer: 7.182.429

Consta declaração da instituição onde será realizada a pesquisa, autorizando-a e comprometendo-se a cumprir os termos da res. 510/16.

O cronograma informa que a coleta de dados acontecerá a partir de 18/11/2024.

O orçamento informa que não estão previstas despesas.

Consta do processo o questionário a ser aplicado aos participantes.

Os TCLEs são esclarecedores a respeito de objetivos, procedimentos, riscos e direitos dos participantes, e cumprem as exigências da res. 510/16.

O TALE apresentado está adequado.

Recomendações:

Sem recomendações adicionais.

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Pela aprovação.

Considerações Finais a critério do CEP:

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_2407103.pdf	28/09/2024 16:19:37		Aceito
Outros	Carta_resposta.pdf	28/09/2024 16:16:56	GABRIELA KAIANA FERREIRA	Aceito
Outros	Declaracao_julia.pdf	28/09/2024 16:15:53	GABRIELA KAIANA FERREIRA	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE_2.pdf	28/09/2024 16:12:36	GABRIELA KAIANA FERREIRA	Aceito

Endereço: Universidade Federal de Santa Catarina, Prédio Reitoria II, R: Desembargador Vitor Lima, nº 222, sala 701
Bairro: Trindade **CEP:** 88.040-400
UF: SC **Município:** FLORIANOPOLIS
Telefone: (48)3721-6094 **E-mail:** cep.propesq@contato.ufsc.br

UNIVERSIDADE FEDERAL DE
SANTA CATARINA - UFSC



Continuação do Parecer: 7.182.429

TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE_1.pdf	28/09/2024 16:12:28	GABRIELA KAIANA FERREIRA	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TALE_julia.pdf	28/09/2024 16:11:36	GABRIELA KAIANA FERREIRA	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	Projeto_detalhado_julia.pdf	28/09/2024 16:10:44	GABRIELA KAIANA FERREIRA	Aceito
Folha de Rosto	Folha_de_Rosto_Julia.pdf	08/09/2024 21:52:09	GABRIELA KAIANA FERREIRA	Aceito

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

FLORIANOPOLIS, 24 de Outubro de 2024

Assinado por:
Danielle O Mamed
(Coordenador(a))

Endereço: Universidade Federal de Santa Catarina, Prédio Reitoria II, R: Desembargador Vitor Lima, nº 222, sala 701
Bairro: Trindade **CEP:** 88.040-400
UF: SC **Município:** FLORIANOPOLIS
Telefone: (48)3721-6094 **E-mail:** cep.propesq@contato.ufsc.br

Página 06 de 06

Apêndice B - Termo de Assentimento Livre e Esclarecido (TALE)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS FÍSICAS E MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE FÍSICA

TERMO DE ASSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Caro (a) estudante

Você está sendo convidado(a) a participar de um projeto de pesquisa intitulado “**Júri Simulado sobre a Natureza da Luz: uma estratégia para discutir aspectos da natureza da ciência**”.

Neste estudo pretendemos desenvolver uma sequência didática que tem como objetivo *analisar de que maneira a sequência didática pode contribuir para a construção de concepções mais informadas sobre a natureza da ciência*. No desenvolvimento desta sequência didática utilizaremos a estratégia de ensino por Júri simulado com o tema central a discussão sobre a natureza da luz, abordando as teorias corpuscular e ondulatória, bem como a discussão sobre as concepções de natureza da ciência e seus diversos aspectos.

Para tanto, pretendemos aplicar esta sequência didática na disciplina de Astronomia e Astrofísica, do itinerário de Matemática e Astronomia, do 3º ano do Ensino Médio da escola CETEC UCS Escola de Ensino Médio e Técnico, escola mantida pela Fundação Universidade de Caxias do Sul.

Diante do exposto, consideramos que este estudo tende a contribuir no seu processo de formação ao proporcionar um ambiente para o desenvolvimento de competências e habilidades de comunicação, argumentação, análise e julgamento.

Os responsáveis por este trabalho são: Júlia Bristot Matos, aluna de mestrado do programa de Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física da Universidade Federal de Santa Catarina, a qual pode ser contatada pelo endereço: Rua Francisco Getúlio Vargas, 1130, Bloco C, sala 215, CEP 95070-560, Caxias do Sul, RS, e por meio do telefone (54) 996336132 ou e-mail juliabristot987@gmail.com. Sua orientadora, Gabriela Kaiana Ferreira, professora do Departamento de Física da Universidade Federal de Santa Catarina, poderá ser contatada pelo endereço: Departamento de Física do Centro de Ciências Físicas e Matemática (CFM), Campus Universitário Reitor João David Ferreira Lima, COE: 88040-900.

Rubrica do participante _____

Rubrica do pesquisador _____

Página 1 de 4

Florianópolis, SC e por meio do telefone (48) 37212831 ou e-mail: gabriela.kaiana@ufsc.br.

As responsáveis pela pesquisa comprometem-se a cumprir as recomendações das resoluções 466/12 e 510/16 do Conselho Nacional de Saúde.

Durante as atividades, você entrará em contato com diversas situações educacionais planejadas para serem executadas de forma individual ou colaborativa. Durante a aplicação do projeto, poderão ser coletados dados através dos seguintes instrumentos:

- Gravações em áudio das discussões em sala de aula;
- Registro escritos pelos estudantes;
- Questionários e roteiro de atividade;

Estes dados coletados serão analisados posteriormente de forma a garantir o sigilo absoluto sobre a identidade dos participantes, atendendo a legislação brasileira (Resoluções N^{os} 466/12 e 510/16 do Conselho Nacional de Saúde). Os resultados deste projeto, cujos objetivos são estritamente acadêmicos e científicos, poderão ser divulgados através do trabalho de curso, artigos científicos e comunicações em congresso, sempre envolvendo o anonimato dos participantes.

Para participar deste projeto, você não terá nenhum custo, nem receberá qualquer vantagem financeira. Ressalta-se que não é previsto nenhum risco ou desconforto além dos quais você naturalmente estaria sujeito ao participar de uma atividade educacional coletiva. Você poderá ficar cansado ou aborrecido ao responder questionários, sentir algum desconforto durante as gravações de vídeo e áudio ou até mesmo ficar constrangido ao realizar uma atividade colaborativa com os demais colegas. Por isso, durante a elaboração do projeto, todos os cuidados foram tomados para minimizar essas situações. Inclusive você terá total liberdade para desistir e retirar sua participação em qualquer momento do processo.

Caso opte pela não participação da pesquisa, outra atividade educacional lhe será direcionada e você estará convidado a acompanhar a atividade de pesquisa desenvolvida como expectador. A atividade substitutiva envolverá a reposição da carga horária em data posterior a ser combinada e a reposição do conteúdo será feita através de textos fornecidos pela professora e da devolutiva de um relatório sobre os textos.

Existe também o risco de quebra de sigilo involuntária e não intencional caso porventura houver furto ou extravio de computador ou dispositivos com arquivos armazenados. Por isso, os professores/pesquisadores comprometem-se a tomar todas as precauções para evitar ou minimizar quaisquer riscos. Salienta-se que ao participar do projeto, você estará contribuindo para a melhoria do ensino de física no país.

Rubrica do participante ____

Rubrica do pesquisador ____

Página 2 de 4

Como esta pesquisa será realizada dentro do ambiente educacional, caso venha sofrer algum acidente ou mal-estar durante sua realização, você será encaminhado(a) aos setores ou órgãos de assistência da universidade aos quais normalmente seria encaminhado em caso de acidente ou mal-estar durante qualquer outra atividade educacional. Caso você tenha alguma despesa adicional ou venha a sentir-se lesado fisicamente ou moralmente por algo comprovadamente relacionado à sua participação no projeto, poderá, nos termos e procedimentos da lei, solicitar o ressarcimento dos valores gastos e/ou indenização pelos danos sofridos.

Caso você perceba a necessidade de descontinuar a sua participação no projeto, informamos que esta solicitação poderá ser feita a qualquer momento através do contato anteriormente disponibilizado. Você será esclarecido(a) sobre o projeto em qualquer aspecto que desejar e estará livre para participar ou recusar-se. Sua participação é voluntária e a recusa em participar no projeto não acarretará qualquer penalidade ou modificação na forma em que você é atendido(a) pela professora/pesquisadora.

Pretende-se que este trabalho tenha como benefícios: o aprimoramento das concepções sobre a natureza da ciência e sobre natureza da luz, conhecendo alguns aspectos das controvérsias que, por muito tempo, pautaram as investigações científicas. Colocamo-nos à disposição para quaisquer esclarecimentos sobre o projeto.

Esse termo deve ser rubricado em todas as suas páginas e assinado em duas vias, sendo uma para o participante e outra para os pesquisadores.

Rubrica do participante _____

Rubrica do pesquisador _____

Página 3 de 4

Declaração do participante

Eu, _____, declaro estar suficientemente informado(a) a respeito do trabalho “**Júri Simulado sobre a Natureza da Luz: uma estratégia para discutir aspectos da natureza da ciência**” e concordo em participar da pesquisa.

- () Concordo com o registro de voz e/ou imagem.
() Não concordo com o registro de voz e/ou imagem

Assinatura do menor

Profa. Júlia Bristot Matos

Dra. Gabriela Kaiana Ferreira

Caxias do Sul, _____ de _____ de 2024.

Rubrica do participante _____

Rubrica do pesquisador _____

Página 4 de 4

Apêndice C - Termo de Consentimento Livre e Esclarecido 1

(TCLE 1)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS FÍSICAS E MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE FÍSICA

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Caro (a) estudante

Você está sendo convidado(a) a participar de um projeto de pesquisa intitulado “**Júri Simulado sobre a Natureza da Luz: uma estratégia para discutir aspectos da natureza da ciência**”.

Neste estudo pretendemos desenvolver uma sequência didática que tem como objetivo *analisar de que maneira a sequência didática pode contribuir para a construção de concepções mais informadas sobre a natureza da ciência*. No desenvolvimento desta sequência didática utilizaremos a estratégia de ensino por Júri simulado com o tema central a discussão sobre a natureza da luz, abordando as teorias corpuscular e ondulatória, bem como a discussão sobre as concepções de natureza da ciência e seus diversos aspectos.

Para tanto, pretendemos aplicar esta sequência didática na disciplina de Astronomia e Astrofísica, do itinerário de Matemática e Astronomia, do 3º ano do Ensino Médio da escola CETEC UCS Escola de Ensino Médio e Técnico, escola mantida pela Fundação Universidade de Caxias do Sul.

Diante do exposto, consideramos que este estudo tende a contribuir no processo de formação ao proporcionar um ambiente para o desenvolvimento de competências e habilidades de comunicação, argumentação, análise e julgamento.

Os responsáveis por este trabalho são: Júlia Bristot Matos, aluna de mestrado do programa de Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física da Universidade Federal de Santa Catarina, a qual pode ser contatada pelo endereço: Rua Francisco Getúlio Vargas, 1130, Bloco C, sala 215, CEP 95070-560, Caxias do Sul, RS, e por meio do telefone (54) 996336132 ou e-mail juliabristot987@gmail.com. Sua orientadora, Gabriela Kaiana Ferreira, professora do Departamento de Física da Universidade Federal de Santa Catarina, poderá ser contatada pelo endereço: Departamento de Física do Centro de Ciências Físicas e Matemática (CFM), Campus Universitário Reitor João David Ferreira Lima, COE: 88040-900,

Rubrica do participante ____

Rubrica do pesquisador ____

Página 1 de 4

Florianópolis, SC e por meio do telefone (48) 37212831 ou e-mail: gabriela.kaiana@ufsc.br.

As responsáveis pela pesquisa comprometem-se a cumprir as recomendações das resoluções 466/12 e 510/16 do Conselho Nacional de Saúde.

Durante as atividades, você entrará em contato com diversas situações educacionais planejadas para serem executadas de forma individual ou colaborativa. Durante a aplicação do projeto, poderão ser coletados dados através dos seguintes instrumentos:

- Gravações em áudio das discussões em sala de aula;
- Registro escritos pelos estudantes;
- Questionários e roteiro de atividade;

Estes dados coletados serão analisados posteriormente de forma a garantir o sigilo absoluto sobre a identidade dos participantes, atendendo a legislação brasileira (Resoluções N^{os} 466/12 e 510/16 do Conselho Nacional de Saúde). Os resultados deste projeto, cujos objetivos são estritamente acadêmicos e científicos, poderão ser divulgados através do trabalho de curso, artigos científicos e comunicações em congresso, sempre envolvendo o anonimato dos participantes.

Para participar deste projeto, você não terá nenhum custo, nem receberá qualquer vantagem financeira. Ressalta-se que não é previsto nenhum risco ou desconforto além dos quais você naturalmente estaria sujeito ao participar de uma atividade educacional coletiva. Você poderá ficar cansado ou aborrecido ao responder questionários, sentir algum desconforto durante as gravações de vídeo e áudio ou até mesmo ficar constrangido ao realizar uma atividade colaborativa com os demais colegas. Por isso, durante a elaboração do projeto, todos os cuidados foram tomados para minimizar essas situações. Inclusive você terá total liberdade para desistir e retirar sua participação em qualquer momento do processo.

Caso opte pela não participação da pesquisa, outra atividade educacional lhe será direcionada e você estará convidado a acompanhar a atividade de pesquisa desenvolvida como expectador. A atividade substitutiva envolverá a reposição da carga horária em data posterior a ser combinada e a reposição do conteúdo será feita através de textos fornecidos pela professora e da devolutiva de um relatório sobre os textos.

Existe também o risco de quebra de sigilo involuntária e não intencional caso porventura houver furto ou extravio de computador ou dispositivos com arquivos armazenados. Por isso, os professores/pesquisadores comprometem-se a tomar todas as precauções para evitar ou minimizar quaisquer riscos. Salienta-se que ao participar do projeto, você estará contribuindo para a melhoria do ensino de física no país.

Rubrica do participante ____

Rubrica do pesquisador ____

Página 2 de 4

Como esta pesquisa será realizada dentro do ambiente educacional, caso venha sofrer algum acidente ou mal-estar durante sua realização, você será encaminhado(a) aos setores ou órgãos de assistência da universidade aos quais normalmente seria encaminhado em caso de acidente ou mal-estar durante qualquer outra atividade educacional. Caso você tenha alguma despesa adicional ou venha a sentir-se lesado fisicamente ou moralmente por algo comprovadamente relacionado à sua participação no projeto, poderá, nos termos e procedimentos da lei, solicitar o ressarcimento dos valores gastos e/ou indenização pelos danos sofridos.

Caso você perceba a necessidade de descontinuar a sua participação no projeto, informamos que esta solicitação poderá ser feita a qualquer momento através do contato anteriormente disponibilizado. Você será esclarecido(a) sobre o projeto em qualquer aspecto que desejar e estará livre para participar ou recusar-se. A participação é voluntária e a recusa em participar no projeto não acarretará qualquer penalidade ou modificação na forma em que você será atendido(a) pela professora/pesquisadora.

Pretende-se que este trabalho tenha como benefícios: o aprimoramento das concepções sobre a natureza da ciência e sobre natureza da luz, conhecendo alguns aspectos das controvérsias que, por muito tempo, pautaram as investigações científicas. Colocamo-nos à disposição para quaisquer esclarecimentos sobre o projeto.

Esse termo deve ser rubricado em todas as suas páginas e assinado em duas vias, sendo uma para o participante e outra para os pesquisadores.

Rubrica do participante _____

Rubrica do pesquisador _____

Página 3 de 4

Declaração do participante

Eu, _____,
declaro estar suficientemente informado(a) a respeito do trabalho “**Júri Simulado sobre a Natureza da Luz: uma estratégia para discutir aspectos da natureza da ciência**” e concordo com a sua participação na pesquisa.

- () Concordo com o registro de voz e/ou imagem.
() Não concordo com o registro de voz e/ou imagem

Assinatura do participante

Profª. Júlia Bristot Matos

Dra. Gabriela Kaiana Ferreira

Caxias do Sul, _____ de _____ de 2024.

Rubrica do participante _____

Rubrica do pesquisador _____

Página 4 de 4

Apêndice D - Termo de Consentimento Livre e Esclarecido 2 (TCLE 2)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS FÍSICAS E MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE FÍSICA

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Caros pais ou responsáveis

O(A) seu(sua) filho(a) (ou menor o qual você é responsável) está sendo convidado(a) a participar de um projeto de pesquisa intitulado “**Júri Simulado sobre a Natureza da Luz: uma estratégia para discutir aspectos da natureza da ciência**”.

Neste estudo pretendemos desenvolver uma sequência didática que tem como objetivo *analisar de que maneira a sequência didática pode contribuir para a construção de concepções mais informadas sobre a natureza da ciência*. No desenvolvimento desta sequência didática utilizaremos a estratégia de ensino por Júri simulado com o tema central a discussão sobre a natureza da luz, abordando as teorias corpuscular e ondulatória, bem como a discussão sobre as concepções de natureza da ciência e seus diversos aspectos.

Para tanto, pretendemos aplicar esta sequência didática na disciplina de Astronomia e Astrofísica, do itinerário de Matemática e Astronomia, do 3º ano do Ensino Médio da escola CETEC UCS Escola de Ensino Médio e Técnico, escola mantida pela Fundação Universidade de Caxias do Sul.

Diante do exposto, consideramos que este estudo tende a contribuir no processo de formação ao proporcionar um ambiente para o desenvolvimento de competências e habilidades de comunicação, argumentação, análise e julgamento.

Os responsáveis por este trabalho são: Júlia Bristot Matos, aluna de mestrado do programa de Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física da Universidade Federal de Santa Catarina, a qual pode ser contatada pelo endereço: Rua Francisco Getúlio Vargas, 1130, Bloco C, sala 215, CEP 95070-560, Caxias do Sul, RS, e por meio do telefone (54) 996336132 ou e-mail juliabristot987@gmail.com. Sua orientadora, Gabriela Kaiana Ferreira, professora do Departamento de Física da Universidade Federal de Santa Catarina, poderá ser contatada pelo endereço: Departamento de Física do Centro de Ciências Físicas e Matemática (CFM), Campus Universitário Reitor João David Ferreira Lima, COE: 88040-900,

Rubrica do responsável ____

Rubrica do pesquisador ____

Página 1 de 4

Florianópolis, SC e por meio do telefone (48) 37212831 ou e-mail: gabriela.kaiana@ufsc.br.

As responsáveis pela pesquisa comprometem-se a cumprir as recomendações das resoluções 466/12 e 510/16 do Conselho Nacional de Saúde.

Durante as atividades, ele(a) entrará em contato com diversas situações educacionais planejadas para serem executadas de forma individual ou colaborativa. Durante a aplicação do projeto, poderão ser coletados dados através dos seguintes instrumentos:

- Gravações em áudio das discussões em sala de aula;
- Registro escritos pelos estudantes;
- Questionários e roteiro de atividade;

Estes dados coletados serão analisados posteriormente de forma a garantir o sigilo absoluto sobre a identidade dos participantes, atendendo a legislação brasileira (Resoluções N^{os} 466/12 e 510/16 do Conselho Nacional de Saúde). Os resultados deste projeto, cujos objetivos são estritamente acadêmicos e científicos, poderão ser divulgados através do trabalho de curso, artigos científicos e comunicações em congresso, sempre envolvendo o anonimato dos participantes.

Para participar deste projeto, você não terá nenhum custo, nem receberá qualquer vantagem financeira. Ressalta-se que não é previsto nenhum risco ou desconforto além dos quais ele(a) naturalmente estaria sujeito ao participar de uma atividade educacional coletiva. Ele(a) poderá ficar cansado ou aborrecido ao responder questionários, sentir algum desconforto durante as gravações de vídeo e áudio ou até mesmo ficar constrangido ao realizar uma atividade colaborativa com os demais colegas. Por isso, durante a elaboração do projeto, todos os cuidados foram tomados para minimizar essas situações. Inclusive ele(a) terá total liberdade para desistir e retirar sua participação em qualquer momento do processo.

Caso opte pela não participação da pesquisa, outra atividade educacional lhe será direcionada e ele(a) estará convidado(a) a acompanhar a atividade de pesquisa desenvolvida como expectador. A atividade substitutiva envolverá a reposição da carga horária em data posterior a ser combinada e a reposição do conteúdo será feita através de textos fornecidos pela professora e da devolutiva de um relatório sobre os textos.

Existe também o risco de quebra de sigilo involuntária e não intencional caso porventura houver furto ou extravio de computador ou dispositivos com arquivos armazenados. Por isso, os professores/pesquisadores comprometem-se a tomar todas as precauções para evitar ou minimizar quaisquer riscos. Salienta-se que ao participar do projeto, você estará contribuindo para a melhoria do ensino de física no país.

Rubrica do responsável ____

Rubrica do pesquisador ____

Página 2 de 4

Como esta pesquisa será realizada dentro do ambiente educacional, caso venha sofrer algum acidente ou mal-estar durante sua realização, o menor será encaminhado aos setores ou órgãos de assistência da universidade aos quais normalmente seria encaminhado em caso de acidente ou mal-estar durante qualquer outra atividade educacional. Caso ele(a) tenha alguma despesa adicional ou venha a sentir-se lesado fisicamente ou moralmente por algo comprovadamente relacionado à sua participação no projeto, poderá, nos termos e procedimentos da lei, solicitar o ressarcimento dos valores gastos e/ou indenização pelos danos sofridos.

Caso ele(a) perceba a necessidade de descontinuar a sua participação no projeto, informamos que esta solicitação poderá ser feita a qualquer momento através do contato anteriormente disponibilizado. Você será esclarecido(a) sobre o projeto em qualquer aspecto que desejar e estará livre para participar ou recusar-se. A participação é voluntária e a recusa em participar no projeto não acarretará qualquer penalidade ou modificação na forma em que ele(a) é atendido(a) pela professora/pesquisadora.

Pretende-se que este trabalho tenha como benefícios: o aprimoramento das concepções sobre a natureza da ciência e sobre natureza da luz, conhecendo alguns aspectos das controvérsias que, por muito tempo, pautaram as investigações científicas. Colocamo-nos à disposição para quaisquer esclarecimentos sobre o projeto.

Esse termo deve ser rubricado em todas as suas páginas e assinado em duas vias, sendo uma para o participante e outra para os pesquisadores.

Rubrica do responsável _____

Rubrica do pesquisador _____

Página 3 de 4

Declaração do Responsável Legal

Eu, _____,
responsável pelo menor _____,
declaro estar suficientemente informado(a) a respeito do trabalho “**Júri Simulado sobre a
Natureza da Luz: uma estratégia para discutir aspectos da natureza da ciência**” e
concordo com a sua participação na pesquisa.

() Concordo com o registro de voz e/ou imagem.

() Não concordo com o registro de voz e/ou imagem

Responsável pelo menor

Profa. Júlia Bristot Matos

Dra. Gabriela Kaiana Ferreira

Caxias do Sul, _____ de _____ de 2024.

Rubrica do responsável _____

Rubrica do pesquisador _____

Página 4 de 4

Apêndice E - Questionário VOSE

Caro estudante,

Este questionário tem como objetivo coletar informações referentes às suas concepções sobre a natureza da ciência. Assim, solicito que responda com sinceridade às questões apresentadas, garantindo anonimato e confidencialidade das respostas. Agradecemos, antecipadamente, toda sua atenção e auxílio para o desenvolvimento deste estudo.

Informações Gerais
Nome:
Idade:

Questões objetivas sobre natureza da ciência: Views on Science and Education Questionnaire (VOSE)

Cada questão deste questionário começa com uma afirmação sobre a natureza da ciência. A maioria das afirmações adotam um certo radicalismo em sua posição. Você pode concordar completamente, discordar completamente ou ter outros pensamentos sobre elas. Cada afirmação é seguida por várias respostas. Por favor, leia todas as respostas primeiro e então circule a opção ao lado de cada resposta de acordo com o seu conhecimento sobre as atividades científicas e cientistas. Não há resposta correta. Obrigada.

DT = discordo totalmente

D = discordo

I = indiferente

C = concordo

CT = concordo totalmente

Views on Science and Education Questionnaire (VOSE)					
1. Quando duas teorias diferentes acabam por explicar o mesmo fenômeno (exemplo natureza da luz), os cientistas vão aceitar as duas teorias ao mesmo tempo?					
A. Sim, porque os cientistas ainda não podem, objetivamente, dizer qual delas é melhor, portanto, irão aceitar as duas tentativas.	DT	D	I	C	CT
B. Sim, porque as duas teorias podem fornecer explicações sob diferentes perspectivas, não há certo ou errado.	DT	D	I	C	CT
C. Não, porque os cientistas tendem a aceitar a teoria na qual eles estão mais familiarizados.	DT	D	I	C	CT
D. Não, porque os cientistas tendem a aceitar a explicação mais simples e evitar teorias mais complexas.	DT	D	I	C	CT
E. Não, o status acadêmico de cada teórico vai influenciar os cientistas na aceitação da teoria.	DT	D	I	C	CT
F. Não, cientistas tendem a aceitar novas teorias que desviem menos do campo teórico contemporâneo das teorias científicas já estabelecidas.	DT	D	I	C	CT
G. Não, os cientistas usam a intuição para fazer julgamentos.	DT	D	I	C	CT
H. Não, porque há apenas uma verdade, os cientistas não aceitam nenhuma teoria antes de distinguir qual é melhor.	DT	D	I	C	CT

2. Investigações científicas são influenciadas por valores socioculturais.					
A. Sim, valores socioculturais influenciam a direção e os tópicos de investigações científicas.	DT	D	I	C	CT
B. Sim, porque os cientistas que participam na investigação científica são influenciados por valores socioculturais	DT	D	I	C	CT
C. Não, cientistas com bom treinamento são isentos de crenças enquanto estão realizando a pesquisa.	DT	D	I	C	CT
D. Não, porque ciência requer objetividade, o que é o contrário da subjetividade dos valores socioculturais.	DT	D	I	C	CT

3. Quando cientistas estão conduzindo pesquisas científicas, eles usam a imaginação?					
A. Sim, a imaginação é o principal recurso da inovação.	DT	D	I	C	CT
B. Sim, cientistas podem usar sua imaginação mais ou menos na pesquisa científica.	DT	D	I	C	CT
C. Não, a imaginação não é consistente com a lógica dos princípios da ciência.	DT	D	I	C	CT

D. Não, a imaginação pode se tornar um meio para provar seu ponto de vista a todo custo.	DT	D	I	C	CT
E. Não, o uso da imaginação perde a confiabilidade.	DT	D	I	C	CT

4. Mesmo que a investigação científica seja realizada corretamente, a teoria proposta ainda pode ser reprovada no futuro.					
A. A pesquisa científica irá encarar as mudanças revolucionárias e a teoria antiga será substituída.	DT	D	I	C	CT
B. Avanços científicos não podem ser feitos em um curto tempo. É através de um processo cumulativo, logo a teoria antiga é preservada.	DT	D	I	C	CT
C. Com o acúmulo de dados de pesquisa e informações, a teoria irá evoluir cada vez mais acurada e completa, não será reprovada.	DT	D	I	C	CT

5. A <u>teoria científica</u> (por exemplo, seleção natural, teoria atômica) é "descoberta" ou "inventada" pelos cientistas a partir do mundo natural?					
A. Descoberta, porque a ideia estava lá o tempo todo para ser revelada.	DT	D	I	C	CT
B. Descoberta, porque é baseada em fatos experimentais.	DT	D	I	C	CT
C. Alguns cientistas descobrem uma teoria acidentalmente, mas outros cientistas podem inventar uma teoria a partir dos fatos conhecidos.	DT	D	I	C	CT
D. Inventada, porque uma teoria é uma interpretação de fatos experimentais, e os fatos experimentais são descobertos pelos cientistas.	DT	D	I	C	CT
E. Inventada, porque uma teoria é criada ou elaborada pelos cientistas.	DT	D	I	C	CT
F. Inventada, porque uma teoria pode ser refutada.	DT	D	I	C	CT

6. A <u>lei científica</u> (por exemplo, lei da gravitação) é "descoberta" ou "inventada" pelos cientistas a partir do mundo natural?					
A. Descoberta, porque as leis científicas estão lá na natureza, e os cientistas apenas precisam encontrá-las.	DT	D	I	C	CT
B. Descoberta, porque as leis científicas são baseadas em fatos experimentais.	DT	D	I	C	CT
C. Alguns cientistas descobrem uma lei acidentalmente, mas outros cientistas podem inventar uma lei a partir dos fatos	DT	D	I	C	CT

conhecidos.					
D. Inventada, porque os cientistas inventam leis científicas para interpretar fatos experimentais descobertos.	DT	D	I	C	CT
E. Inventada, uma vez que não há absolutos na natureza, portanto, a lei é inventada pelos cientistas.	DT	D	I	C	CT

7. Em comparação com as leis, as teorias têm menos evidências para sustentá-las.					
A. Sim, teorias não são tão definitivas quanto leis.	DT	D	I	C	CT
B. Sim, se uma teoria resistir a muitos testes, ela eventualmente se tornará uma lei; portanto, uma lei tem mais evidências de apoio.	DT	D	I	C	CT
C. Não exatamente, algumas teorias têm mais evidências de apoio do que algumas leis.	DT	D	I	C	CT
D. Não, teorias e leis são tipos diferentes de ideias. Não podem ser comparadas.	DT	D	I	C	CT

8. As observações dos cientistas são influenciadas por crenças pessoais (por exemplo, experiências pessoais, suposições); portanto, eles podem não fazer as mesmas observações para o mesmo experimento.					
A. As observações são diferentes, porque crenças diferentes levam a expectativas diferentes que influenciam a observação.	DT	D	I	C	CT
B. As observações serão as mesmas, porque os cientistas treinados na mesma área têm ideias semelhantes.	DT	D	I	C	CT
C. As observações serão as mesmas, porque, através do treinamento científico, os cientistas podem abandonar valores pessoais para realizar observações objetivas.	DT	D	I	C	CT
D. As observações são as mesmas, porque observações são exatamente o que vemos e nada mais. Fatos são fatos. Interpretações podem ser diferentes de uma pessoa para outra, mas as observações devem ser as mesmas	DT	D	I	C	CT
E. As observações serão as mesmas. Embora a subjetividade não possa ser completamente evitada na observação, os cientistas usam diferentes métodos para verificar os resultados e melhorar a objetividade.	DT	D	I	C	CT

9. A maioria dos cientistas segue o método científico universal, passo a passo, para fazer suas pesquisas (ou seja, formular uma hipótese, projetar um experimento, coletar dados e tirar conclusões).					
A. O método científico garante resultados válidos, claros, lógicos e	DT	D	I	C	CT

precisos. Portanto, a maioria dos cientistas segue o método universal na pesquisa.					
B. A maioria dos cientistas usa o método científico porque é um procedimento lógico.	DT	D	I	C	CT
C. O método científico é útil na maioria dos casos, mas não garante resultados; portanto, os cientistas inventam novos métodos.	DT	D	I	C	CT
D. Não existe o chamado método científico. Os cientistas usam qualquer método para obter resultados.	DT	D	I	C	CT
E. Não há um método científico fixo; o conhecimento científico pode ser descoberto acidentalmente.	DT	D	I	C	CT
F. Não importa como os resultados são obtidos, os cientistas usam o método científico para verificá-los.	DT	D	I	C	CT

10. Os alunos do ensino fundamental e médio devem aprender o procedimento do método científico.					
A. Sim, para que os alunos tenham diretrizes a seguir.	DT	D	I	C	CT
B. Sim, porque os alunos ainda são incapazes de criar métodos mais apropriados.	DT	D	I	C	CT
C. Sim, eles devem aprender o que os cientistas fazem.	DT	D	I	C	CT
D. Sim, porque o método científico é o melhor método que os cientistas desenvolveram até agora.	DT	D	I	C	CT
E. Sim, isso ajuda os alunos a aprender uma maneira objetiva de estudar ciência.	DT	D	I	C	CT
F. Sim, pode ajudar os alunos a entender a essência da ciência.	DT	D	I	C	CT
G. Não, não devemos ensinar apenas um método científico. Os alunos devem ter espaço para pensar e desenvolver seus próprios métodos.	DT	D	I	C	CT
H. Não, não existe o chamado método científico.	DT	D	I	C	CT
I. Não, os professores e alunos devem fazer brainstorming sobre diferentes métodos de pesquisa.	DT	D	I	C	CT

11. Os alunos devem entender que o conhecimento científico pode mudar.					
A. Sim, para que eles compreendam a verdadeira natureza da ciência.	DT	D	I	C	CT
B. Sim, para que eles entendam o motivo pelo qual a ciência	DT	D	I	C	CT

avança.					
C. Não, isso diminuirá o interesse dos alunos em aprender ciência.	DT	D	I	C	CT
D. Não, isso diminuirá a aceitação dos alunos em relação à ciência.	DT	D	I	C	CT
E. Não, os alunos só precisam aprender sobre os fundamentos constantes do conhecimento científico.	DT	D	I	C	CT

Apêndice F - Edital para Projetos de Pesquisa Científica produzido pelos estudantes

EDITAL PARA PROJETOS DE PESQUISA CIENTÍFICA

A comissão avaliadora da banca simulada torna público o presente EDITAL, contendo normas, rotinas e procedimentos que orientam o processo de seleção de Projetos de Pesquisa Científica.

FINALIDADE E OBJETIVOS

O objetivo da pesquisa é trazer conhecimento científico com resultados academicamente relevantes e referências bibliográficas sólidas. Também é necessário que o trabalho possa ser continuado, traga retorno financeiro para a instituição e tenha aplicabilidade, direta ou indireta, para a sociedade, sendo desenvolvido sempre com base no método científico.

DA SELEÇÃO DOS PROJETOS DE PESQUISA

A seleção dos projetos de pesquisa ficará a cargo da comissão julgadora tendo como critérios de avaliação:

1. Coesão dos argumentos
2. Clareza da argumentação
3. Conexão experimento-teoria
4. Respostas aos questionamentos propostos
5. Questionamentos ao grupo adversário
6. Fechamento da argumentação
7. Execução do experimento

8. Explicação do experimento
9. Argumentação de exclusividade (como o experimento reforça exclusivamente a teoria defendida)
10. Anteparo teórico
11. Postura durante a apresentação
12. Vocabulário
13. Organização dos argumentos
14. Respeito aos adversários
15. Retorno do investimento
16. Continuidade da pesquisa
17. Relevância acadêmica

Cada aspecto será avaliado pela banca examinadora em notas 0 (zero), 1/2 (meio) ou 1 (um). O **conceito do examinador (CE)** é dado pela soma das notas de cada critério, sendo a nota máxima 23 (vinte e três) e a mínima 0 (zero). Dá-se o **conceito final (CF)** pela soma entre os CE de cada membro, com a nota máxima sendo 184 (cento e oitenta e quatro).

DA DIVULGAÇÃO DO MÉRITO DO PROJETO

A banca resguarda o direito do controle da verba para custeio de pesquisa, seguindo condutas diferenciadas diante das três condições estipuladas:

- 1) GRUPO COM CONCEITO FINAL SUPERIOR (diferença entre conceitos >10%): O proponente com maior conceito final recebe custeio integral.
- 2) CONCEITOS FINAIS EQUIPARADOS (diferença entre conceitos <10%): A verba será igualmente repartida entre os proponentes.
- 3) CONCEITOS FINAIS EMBRIONÁRIOS (conceito final de nenhum dos grupos ultrapassa 128 pontos): A banca não realizará aportes.

Apêndice G - Artigo Científico produzido pelos estudantes do grupo que defendeu a teoria ondulatória

A Natureza Ondulatória e Eletromagnética da Luz

RESUMO

Este artigo busca comprovar a natureza ondulatória da luz por meio de experimentos clássicos e análise de referências bibliográficas. A pesquisa parte do princípio de que as ondas eletromagnéticas, diferente das ondas mecânicas, se propagam sem necessitar da presença de um suporte material (meio físico). A luz é um pré-requisito para a vida, uma vez que é a melhor fonte de energia para os nossos alimentos. A luz é essencial à religião, às histórias sobre a criação, à poesia, à literatura, à língua e à cultura. Os objetivos incluem demonstrar as propriedades ondulatórias da luz, utilizando experimentos históricos, como os de Young e Johann Doppler, e sua contextualização em teorias modernas. A metodologia consiste em revisão de literatura científica e análise de experimentos que evidenciam características ondulatórias. Os resultados obtidos confirmam que fenômenos como a interferência e a variação de frequência com o movimento são evidências da natureza ondulatória da luz. Conclui-se então que a comprovação experimental dessa propriedade foi fundamental para o desenvolvimento da física moderna e para a compreensão de fenômenos eletromagnéticos.

Palavras-chave: Luz, natureza ondulatória, interferência, experimentos históricos.

1. INTRODUÇÃO

A natureza da luz tem sido tema central em debates científicos a séculos, passando como onda eletromagnética e partícula, sendo apresentada, na maioria dos manuais didáticos, como uma dicotomia entre as teorias corpuscular e ondulatória. A teoria ondulatória, sistematizada por Christiaan Huygens, e a teoria corpuscular, defendida por Isaac Newton, marcaram o início de uma controvérsia histórica. No século XIX, experimentos como os de Young e Fresnel forneceram evidências que consolidaram a necessidade de uma interpretação ondulatória da luz, mais tarde complementada pelos estudos de Maxwell e Hertz.

Este artigo busca demonstrar a natureza ondulatória da luz por meio da análise de experimentos históricos e da revisão de literatura científica. A metodologia inclui a replicação e análise de experimentos como o de fenda dupla de Young, a interpretação de fenômenos como a interferência e a difração, e o exame de conceitos fundamentais na teoria ondulatória.

A pesquisa contribui para o entendimento mais profundo da natureza da luz, destacando a relevância de abordagens experimentais para a física moderna e corrigindo leituras simplistas sobre o desenvolvimento das teorias ondulatória e corpuscular.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

A luz, tendo existido desde muito antes da humanidade, representa uma parte fundamental do universo e seus componentes. Físicos e cientistas dedicaram diversos estudos aos seus mistérios, mas mesmo na atualidade, com todos avanços e tecnologias, ela continua enigmática. Um de seus inúmeros segredos envolve um dos maiores debates científicos dos tempos modernos, discutido desde a metade do século XX: a luz possui uma natureza ondulatória ou corpuscular?

A seguinte pesquisa procura defender a expressão ondulatória eletromagnética da luz, uma vez que tal proposta possui grande quantia de provas e evidência de apoio. Para isso será usado tanto validações teóricas quanto práticas a fim de confirmar a teoria em questão.

A luz pode ser dita como parte de um fenômeno chamado radiação eletromagnética, que propaga energia por meio de flutuações de campo elétrico e magnético, que vibram em planos perpendiculares entre si e formam ondas (SILVIA MITIKO NISHIDA, 2009). Além da luz, existe uma coletividade de ondas formadas similarmente, que compartilham características entre si, chamado de espectro eletromagnético. Tal qual qualquer outra onda, este agrupamento apresenta características como velocidade de propagação, comprimento de onda e frequência, que são responsáveis pelas divergências entre as ondulações. Tal associação é constituída por, em ordem crescente de frequência: ondas rádio, microondas, infravermelho, luz visível, ultravioleta, raios x e raios gama.

Devido a sua formação, as ondas eletromagnéticas são capazes de transportar energia (por meio dos campos elétricos e magnéticos) sem transportar matéria. Consequentemente, elas também não necessitam de um meio físico para se locomover, ao contrário de ondas mecânicas (como as do som), e são bastante usadas para estudos extraterrestres, visto que, uma vez no vácuo, elas viajam infinitamente.

Apesar de apresentar algumas características únicas, o espectro eletromagnético ainda possui comportamentos similares àqueles de outros fenômenos ondulatórios, como a reflexão, refração, absorção, difração, interferência, espalhamento e polarização.

É importante enfatizar a manifestação da difração, representada pela capacidade das ondas de desviar ou contornar obstáculos na sua rota de propagação. Esse fenômeno faz-se indispensável no debate de ondas e partículas da luz, pois explica um dos experimentos mais importantes dessa discussão, o experimento da dupla fenda de Thomas Young, que solidifica o argumento da natureza ondulatória da luz.

3. ATIVIDADE EXPERIMENTAL

O experimento da dupla fenda de Thomas Young foi uma das evidências mais importantes para o argumento da natureza ondulatória da luz. Para realizá-lo, foram utilizados os seguintes materiais: uma fonte de luz coerente, representada por um laser de luz monocromática, uma placa opaca contendo duas fendas paralelas separadas por uma distância muito pequena (na ordem de micrômetros), uma tela branca para projeção do padrão de interferência, suportes para estabilizar o laser e a placa de fendas, uma fita métrica ou régua para medições, e um ambiente escuro para melhor visualização.

Inicialmente, o laser foi fixado em um suporte e ajustado para emitir seu feixe perpendicularmente em direção à placa de fendas. A placa foi posicionada a uma distância aproximada de 20 cm do laser, enquanto a tela de projeção foi alinhada a cerca de 1 metro das fendas. Com o alinhamento correto, o laser foi acionado, e o feixe de luz passou pelas fendas, gerando na tela um padrão de franjas claras e escuras devido à interferência das ondas de luz.

Observou-se o padrão de interferência formado, e foram realizadas medições da distância entre as franjas claras consecutivas, além de registrar a configuração do experimento para assegurar a repetibilidade. A atividade experimental evidenciou as características ondulatórias da luz, demonstradas pela formação do padrão típico de interferência.

4. DISCUSSÃO E RESULTADOS

4.1. Propriedades da Luz

A luz, em sua essência, é uma forma de radiação eletromagnética, o que a classifica como uma onda e não uma partícula. A radiação eletromagnética é composta por oscilações no campo elétrico e magnético que se propagam pelo espaço, o que a caracteriza como uma onda. Esse comportamento ondulatório é uma das principais razões pelas quais a luz deve ser entendida como uma onda. No espectro de radiação eletromagnética, a luz visível ocupa uma faixa específica de comprimentos de onda, que vão de aproximadamente 400 nm (nanômetros) para a luz violeta até cerca de 700 nm para a luz vermelha. Esta faixa de luz visível é apenas uma pequena porção de um espectro muito mais amplo, que inclui radiações como micro-ondas, infravermelho, ultravioleta, raios X e

raios gama, todas elas compostas por ondas eletromagnéticas, sem qualquer evidência de características de partículas.

Uma das evidências mais fortes do comportamento ondulatório da luz é a sua capacidade de exibir propriedades típicas de ondas, como interferência e difração. Quando a luz passa por fendas pequenas ou interage com outros feixes de luz, pode ocorrer um fenômeno conhecido como interferência, no qual as ondas podem se reforçar ou se cancelar mutuamente. Esse fenômeno não pode ser explicado de forma satisfatória por uma teoria baseada em partículas, uma vez que partículas não exibem o mesmo tipo de comportamento coletivo que as ondas apresentam. Além disso, o fenômeno da difração, no qual a luz se espalha ao passar por obstáculos, também é uma característica fundamental das ondas, mas não tem explicação convincente no modelo de partículas.

Além disso, a luz tem características clássicas de ondas, como a frequência e o comprimento de onda, que são determinantes na sua energia e no tipo de radiação que ela representa. A frequência da luz está diretamente relacionada à sua cor no espectro visível e é uma propriedade essencial das ondas. O comprimento de onda, por sua vez, determina a quantidade de oscilações que ocorrem por unidade de tempo em um determinado ponto do espaço. Essas propriedades podem ser utilizadas para descrever o comportamento da luz de forma precisa, reforçando sua natureza ondulatória.

Por fim, é importante notar que a radiação eletromagnética, incluindo a luz, não tem forma física nem massa. Isso significa que, ao contrário das partículas materiais, que têm uma localização bem definida e propriedades como massa e volume, a luz não possui essas características. Sua propagação é entendida como uma perturbação nos campos elétrico e magnético, que se propagam de forma ondulatória no espaço. Isso reforça a ideia de que a luz é uma onda, uma vez que as partículas, em sua concepção tradicional, teriam que possuir uma massa ou uma estrutura física bem definida para se comportar como tal, algo que a luz claramente não faz. Portanto, a evidência empírica e as propriedades da radiação eletromagnética apontam de forma clara para a luz como uma onda e não como uma partícula.

4.2. Efeito Doppler

O efeito Doppler é um fenômeno ondulatório que consiste na variação da frequência de uma onda devido a sua relação entre a fonte emissora e o observador.

No som, é facilmente percebido no deslocamento de uma ambulância, onde conforme o observador se aproxima, seu som vai ficando mais agudo e conforme vai se afastando, fica mais grave.

Na luz, esse efeito é responsável pelo deslocamento para o vermelho (Redshift) quando se afasta e o deslocamento para o azul

(Blueshift) quando se aproxima. Quando a fonte luminosa se afasta do observador, as ondas são “estendidas”, aumentando assim seu comprimento de onda e diminuindo a frequência, movendo a luz para a região vermelha do espectro. Isso resulta no fenômeno Redshift. O oposto ocorre quando se aproxima do observador, com as ondas sendo “reduzidas”, diminuindo seu comprimento e aumentando a frequência, movendo a luz para a região azul do espectro. Resultando no fenômeno Blueshift.

Para que o efeito ocorra, é preciso que exista uma frequência e um comprimento de onda capazes de ser alterados, isso é conflitante com o modelo de partículas, onde não há frequência ou comprimento mensurável.

4.3. Argumento de Refutação: Radiômetro

O radiômetro foi um experimento inicialmente desenvolvido com uma perspectiva corpuscular para demonstrar a “pressão” da luz. Ele é composto por um globo de vidro com vácuo com uma pequena “cruz” de arame segurando um pedaço de papel em cada ponta horizontal, esses tendo um lado escuro e outro claro, e mirando um feixe de luz em um dos pedaços de papel.

Visto que a luz tem quantidade de movimento, os fótons deveriam bater na parte branca e ser refletidos, enquanto a parte preta apenas absorveria esse fóton, o que faria a parte *branca* do radiômetro ser “empurrada”. Porém, o experimento acaba por comprovar apenas a termodinâmica, visto que o radiômetro faz justamente o contrário do que foi previsto inicialmente (ou seja, o lado preto que é “empurrado”).

O motivo desse resultado vem da absorção de calor pelo papel preto, o que gera agitação térmica, que em um ambiente de quase vácuo, é o suficiente para fazê-lo ser “empurrado”, enquanto a parte branca apenas reflete o calor, e não é afetada cineticamente. Com isso, o experimento não está propriamente comprovando que a luz é partícula, e sim, comprovando a termodinâmica

5. CONCLUSÃO

Os estudos apresentados ao longo deste artigo reforçam a natureza ondulatória da luz, consolidada por evidências experimentais e teóricas. Fenômenos como a interferência e a difração, demonstrados nos experimentos de Thomas Young, e o efeito Doppler, que explica o deslocamento da frequência da luz em função do movimento relativo entre fonte e observador, são características exclusivamente associadas ao comportamento de ondas.

Além disso, as propriedades fundamentais da radiação eletromagnética, como frequência e comprimento de onda, corroboram a teoria ondulatória, uma vez que essas características são incompatíveis com o modelo corpuscular tradicional. A análise crítica de experimentos, como o radiômetro, reforça a ideia de que evidências supostamente corpusculares podem refletir fenômenos termodinâmicos ou outras propriedades físicas que não invalidam a teoria ondulatória.

Assim, as evidências apresentadas a favor da natureza ondulatória eletromagnética da luz tornam-se essenciais para a resolução de um dos maiores mistérios do universo. Essa pesquisa, revisitando experimentos históricos e suas interpretações em teorias contemporâneas, ratifica a importância da abordagem experimental como base para o desenvolvimento do conhecimento científico.

6. REFERÊNCIAS

CROCKETT, Christopher. "What do redshifts tell astronomers?". EarthSky. 24 de Janeiro 2021. Disponível em: <https://earthsky.org/astronomy-essentials/what-is-a-redshift/>. Acesso em: 20 nov 2024.

DA ONDA ELETROMAGNÉTICA, N. E. P. Universidade Federal do Espírito Santo. Disponível em: https://ensinodefisica.ufes.br/sites/ensinofisica.ufes.br/files/field/anexo/ondas_eletromag_0.pdf. Acesso em: 20 nov. 2024.

Experimento de fenda dupla de Thomas Young. Disponível em: <https://www.olympus-lifescience.com/pt/microscope-resource/primer/java/doubleslit/wavefronts/>. Acesso em: 21 nov. 2024.

HAWKING, Stephen. Uma Breve História do Tempo. Uma Breve História do Tempo, Londres, v. 1, n. 1, p. 1-212, 1 abr. 1988.

SCARINCI, A. L.; MARINELI, F. O modelo ondulatório da luz como ferramenta para explicar as causas da cor. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 36, n. 1, p. 1309, 2014.

SILVIA MITIKO NISHIDA (São Paulo). Universidade Estadual Paulista. Como vemos o mundo? As propriedades da luz. Como Funciona O Corpo Humano?, São Paulo, v. 1, n. 1, p. 1-1, 1 abr. 2009. Disponível em: https://www2.ibb.unesp.br/Museu_Escola/2_qualidade_vida_humana/Museu2_quali

dade_corpo_sensorial_visao3.htm#:~:text=A%20luz%20%C3%A9%20um%20fen%C3%B4meno,de%20%C3%A1gua%20etc.).. Acesso em: 20 nov. 2024.

SILVA, F. W. O. DA. A evolução da teoria ondulatória da luz e os livros didáticos. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 29, n. 1, p. 149–159, 2007.

PONTES, Raphael Guimarães; AGUIAR, Carlos Eduardo. Ondas, Partículas e Luz. Mnpef, Rio de Janeiro, v. 1, n. 1, p. 1-28, fev. 2019.

Wmap - Erlon. (n.d.). Wmap - Erlon. Disponível em: <https://materia-escura.propg.ufabc.edu.br/mnpef-sites/materia-escura/Redshift/> Acesso em: 20 nov. 2024.

Apêndice H - Artigo Científico produzido pelos estudantes do grupo que defendeu a teoria corpuscular

CENTRO TECNOLÓGICO DE ENSINO MÉDIO E TÉCNICO

ASTRONOMIA E ASTROFÍSICA

NATUREZA CORPUSCULAR DA LUZ COMO FÓTON

CAXIAS DO SUL

2024

RESUMO

Este artigo tem como objetivo defender a teoria corpuscular da luz, que a descreve como composta por partículas chamadas fótons. A pesquisa explora a fundamentação teórica e experimental que sustenta essa visão, com ênfase no efeito fotoelétrico, primeiro explicado por Einstein, e em experimentos históricos que confirmam a quantização da luz. A metodologia utilizada incluiu a revisão de artigos acadêmicos e a análise de experimentos realizados por Newton, Einstein e Compton, que fornecem evidências do comportamento corpuscular da luz. A pesquisa também examina a relação entre a intensidade da luz e a emissão de elétrons, demonstrando que a emissão de elétrons de uma superfície metálica depende da frequência da luz, e não da sua intensidade, um resultado que refuta a ideia de que a luz seja apenas uma onda. Além disso, são discutidos os fenômenos ópticos, como reflexão, refração e dispersão, que podem ser explicados a partir da teoria corpuscular, considerando a luz como um feixe de partículas que transportam energia de forma discreta. Por fim, a pesquisa destaca a importância da dualidade onda-partícula, evidenciada pela mecânica quântica, e a contribuição dessa teoria para o avanço da física moderna, especialmente em experimentos e tecnologias relacionadas à óptica e à física quântica.

Palavras-chave: Luz, partículas, fótons, efeito fotoelétrico.

1. INTRODUÇÃO

Ao escrever seu livro, Yoav Ben-Dov destaca que, “[...] a luz é uma forma de energia que é emitida por certos corpos e que se propaga livremente no espaço até chocar-se com o objeto observado, que a envia para o olho” (1996, p.86).

A luz é uma forma de radiação eletromagnética que transporta energia que, dependendo de sua frequência, torna-se visível ao olho humano. A intensidade de energia tem relação direta com a frequência: quanto maior a frequência, maior a energia. (SANTOS, *et al.* 2022)

No início do século XIX, o estudo de fenômenos como interferência, difração, dupla refração e polarização serviram como base para novas teorias sobre a luz. Na tentativa de buscar explicações para os fenômenos luminosos, estudiosos da época trabalhavam, predominantemente, dentro de duas correntes sobre a natureza da luz: a teoria corpuscular e a teoria ondulatória.

O comportamento corpuscular da luz é a concepção de que ela é composta por partículas que apresentam minúsculos pacotes de energia (fótons ou quanta de luz) e que se deslocam em movimento retilíneo, com grande velocidade. Tal entendimento explica fenômenos da luz como a reflexão e refração, que são representadas por raios incidentes, refletidos e refratados, que formam ângulos e trajetórias e podem ser calculados a partir de conceitos geométricos, como se fossem minúsculas bolas maciças com comportamento e deslocamento previsíveis.

O presente artigo visa defender a natureza corpuscular da luz, a partir da apresentação de evidências teóricas e experimentos que fundamentam a teoria. O trabalho foi desenvolvido por meio de uma profunda pesquisa em artigos e trabalhos de outros autores que assinalam a luz como uma partícula e baseiam suas evidências na explicação de determinados fenômenos e demonstrações em experimentos, como o fotoelétrico.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Surgimento da teoria corpuscular

Em 1675, Newton escreveu “Hipótese da luz” que contém estudos mais aprofundados sobre os anéis de Newton, onde elaborou uma explicação mecânica sobre o comportamento da luz baseada na existência do Éter. Nesta obra, os efeitos ópticos como a refração, a reflexão e os “aneis de Newton” seriam provocados pelas vibrações que a luz provocaria no éter. Newton não afirma que a luz é uma vibração, mas sim que provoca vibrações. (MOURA & SILVA, 2001)

[...] presumo que a luz não seja nem esse éter nem seu movimento vibratório, porém algo de natureza diferente, propagado por corpos luminosos. Quem o assim desejar poderá presumi-la como um agregado de várias qualidades peripatéticas. Outros poderão supô-la como uma multidão de corpúsculos inimaginavelmente pequenos e velozes, de tamanhos diversos, brotando dos corpos luminosos a grandes distâncias uns dos outros [...]. Para evitar discussões e generalizar esta Hipótese, que cada homem escolha sua preferência quanto a isso. Apenas, seja a luz o que for, eu suporia que ela consiste em raios sucessivos, que diferem uns dos outros em circunstâncias contingentes, como a grandeza, a forma ou o vigor [...](NEWTON, 1675)

Embora enfatize que está generalizando a hipótese sobre o que seria a luz, é evidente, ao interpretarmos suas palavras que acreditava numa concepção corpuscular, pois em suas palavras, usa termos como “grandeza, forma ou vigor”, características muitas vezes atribuídas a coisas materiais. Assim, Newton acreditava que a luz fosse um corpúsculo que emanava do corpo luminoso e que possuía propriedades originais, sendo elas responsáveis por fenômenos ópticos como a refração, a reflexão e os “aneis de Newton” (MOURA & SILVA, 2001)

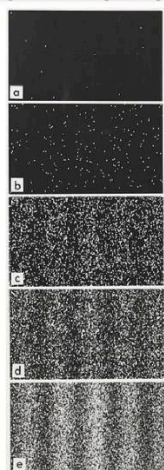
Na teoria conhecida como modelos corpuscular da luz(1672), Newton considera a luz como um feixe de partículas emitidas por uma fonte de luz que atingia o olho, estimulando a visão.

Mais tarde após o surgimento das teorias ondulatórias, parecia que realmente a natureza da luz eram ondas eletromagnética, porém as teorias não conseguiam explicar o fenômeno de emissão fotoelétrica, que é a ejeção de elétrons quando a luz incide sobre um condutor. Einstein, em 1905, mostrou que a energia de um feixe de luz era concentrada em pequenos pacotes de energia, denominados fótons, que explicava o fenômeno da emissão fotoelétrica. Nesse ano, ele escreveu a famosa teoria da relatividade, que propunha analisar os movimentos das partículas que apresentavam grandes velocidades para as quais a mecânica Newtoniana não era válida.

Em 1911, a natureza corpuscular da luz foi confirmada por Compton, onde verificou que quando um fóton colide com um elétron, eles se comportam como corpos materiais.

No séc. XX ficou claro, no experimento fenda dupla para a luz, se tornasse a intensidade a luz bem fraca, e se um detector ultra sensível fosse utilizado, o padrão de interferência óptica se formaria ponto a ponto. Cada pontinho é chamado de “quantum de luz” , ou fóton, e ele foi reconhecido qualitativamente por Joseph John Thomson, em 1904 e de maneira exata por Einstein em 1905. (PESSOA Jr., 2022)

Figura 1 - Formação paulatina, ponto a ponto, de um padrão de interferência de elétrons.



A Formação ponto a ponto do padrão de intensidade é surpreendente, pois envolve um aspecto corpuscular - os fótons - junto com o aparecimento de um padrão de interferência, que é tipicamente uma propriedade ondulatória. (PESSOA Jr., 2022)

2.2 Teoria Corpuscular da Luz

A teoria corpuscular da luz, proposta inicialmente por Isaac Newton e reformulada com base na teoria quântica, considera a luz como composta por partículas denominadas fótons. Esta abordagem foi consolidada com os trabalhos de Albert Einstein sobre o efeito fotoelétrico, que demonstraram que a luz apresenta comportamento tanto corpuscular quanto ondulatório (dualidade onda-partícula). Abaixo estão as principais características dessa teoria em relação à propagação, quantização da energia e relação com a frequência:

2.2.1 Propagação

Os fótons são partículas sem massa em repouso que se propagam no vácuo à velocidade da luz (Hecht, 2002). Eles seguem trajetórias retilíneas, mas podem sofrer fenômenos como reflexão, refração e dispersão ao interagir com materiais. Como partículas, os fótons carregam energia e momento linear, podendo transferi-los ao interagir com outros objetos ou partículas.

2.2.2 Quantização da Energia

A energia dos fótons é quantizada, ou seja, ocorre em pacotes discretos chamados quanta. A energia de um fóton (E) é dada pela relação:

$$E = hf$$

h é a constante de Planck.

f é a frequência da onda eletromagnética associada ao fóton.

Essa quantização foi fundamental para explicar fenômenos como o efeito fotoelétrico, no qual Einstein (1905) demonstrou que a emissão de elétrons por uma superfície metálica ocorre apenas quando os fótons têm energia suficiente para superar a função trabalho do material.

2.2.3 Relação com a Frequência

A energia de um fóton é diretamente proporcional à frequência da luz. Assim, luz de maior frequência (como raios gama) possui fótons mais energéticos do que luz de menor frequência (como ondas de rádio) (Tipler & Mosca, 2009). Esta relação explica fenômenos como o efeito fotoelétrico, em que fótons com energia suficiente podem ejetar elétrons de uma superfície metálica, algo que ondas de baixa frequência não conseguem realizar, independentemente de sua intensidade.

2.2.4 Implicações da Teoria

Dualidade onda-partícula: Os fótons exibem características corpusculares (energia discreta, propagação em linha reta) e ondulatórias (frequência, comprimento de onda), conforme descrito pela mecânica quântica (Feynman, 1965).

Conservação de energia e momento: Na interação entre fótons e outras partículas, a energia e o momento são conservados, o que fundamenta a descrição de fenômenos como dispersão Compton (Compton, 1923) e emissão de radiação.

Essa teoria foi essencial para o desenvolvimento da física quântica e continua sendo fundamental na compreensão de processos como espectroscopia, mecânica quântica e tecnologias baseadas em lasers.

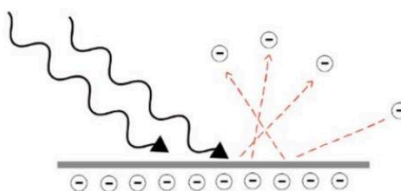
3. ATIVIDADE EXPERIMENTAL

3.1 Sobre o efeito fotoelétrico:

O efeito fotoelétrico é um fenômeno de origem quântica que ocorre quando um material, ao ser iluminado por uma radiação eletromagnética com frequência específica, emite elétrons de sua superfície. Os elétrons, ejetados devido à interação com a luz, são chamados de fotoelétrons.

Descoberto em 1886 pelo físico alemão Heinrich Hertz, só foi possível realizar o efeito quando, ao incidir luz ultravioleta sobre chapas metálicas, surgiam faíscas elétricas mais facilmente. Apesar dessa descoberta experimental, a explicação teórica só foi fornecida anos depois, em 1905, por Albert Einstein, onde concluiu que cada fóton, transfere energia suficiente para ejetar um único elétron do material, e para isso, a frequência da luz precisa ser suficientemente alta. Ademais, Max Planck havia proposto que a energia da luz irradiada por um corpo negro não é contínua, mas ocorre em pequenos pacotes, denominados quanta. Einstein ampliou essa ideia para toda radiação eletromagnética, solucionando o problema teórico do efeito fotoelétrico.

O efeito fotoelétrico consiste na ejeção de elétrons de um material exposto a uma determinada frequência de radiação eletromagnética. Os pacotes de luz, chamados de fótons, transferem energia para os elétrons. Se essa quantidade de energia for maior do que a energia mínima necessária para se arrancar os elétrons, estes serão arrancados da superfície do material, formando uma corrente de fotoelétrons.



A energia de cada fóton depende de sua frequência (f), portanto, existe uma frequência mínima necessária para arrancar os elétrons do material. A energia

mínima que cada fóton deve ter para promover o efeito fotoelétrico é chamada de função trabalho. A equação a seguir permite calcular a energia de um único fóton de frequência 'f' :

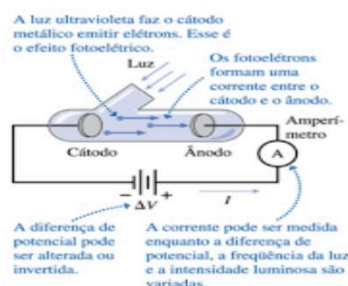
$$E = hf$$

Na equação acima, 'h' é uma constante física chamada constante de Planck, de valor igual a $4,0 \cdot 10^{-15}$ eV.s (elétrons-volts - cada eV equivale a $1,6 \cdot 10^{-19}$ J). A energia cinética que o elétron adquire após ser atingido por um fóton é determinada pela diferença da energia do fóton com a função trabalho (Φ):

$$E_{\text{elétron}} = hf - \Phi$$

Por fim, uma curiosidade importante em ressaltar é sobre a aplicabilidade tecnológica do efeito fotoelétrico nas células fotovoltaicas, utilizadas em painéis solares para a geração de energia elétrica, e também, é utilizado em sensores ópticos, detectores de luz e outros dispositivos que dependem da interação luz-matéria.

Figura 2 - Efeito fotoelétrico.



4. DISCUSSÃO E RESULTADOS

Após a teoria apresentada e os experimentos descritos, os resultados obtidos corroboram a natureza corpuscular da luz, conforme proposto por Einstein no início do século XX. Ao analisar o efeito fotoelétrico, observou-se que a emissão de elétrons por uma superfície metálica ocorre apenas quando a frequência da luz incidente ultrapassa um valor crítico, independentemente da intensidade luminosa. Essa dependência exclusiva da frequência é um indicativo direto de que a luz é composta por quantidades de energia discretas - as popularmente conhecidas como partículas - os fótons, refutando, assim, a teoria de que a luz se encontraria como uma onda.

4.1 Análise Matemática e Comparações

Analisando a natureza dos fótons, é possível concluir a partir de estudos e publicações acadêmicas que as características da frequência da luz são coincidentes com o efeito fotoelétrico. A energia dos fótons foi calculada utilizando a equação de Planck: $E = hf$, onde h é a Constante de Planck ($6,626 \cdot 10^{-34}$ J/s) e f é a frequência da luz incidente. Os resultados demonstram que o limiar de frequência para emissão de elétrons no metal analisado foi de $4,3 \cdot 10^{14}$ Hz, correspondente a uma energia de 2,84 eV, que identificaram um limiar de $4,35 \cdot 10^{14}$ Hz para materiais similares.

Além disso, a análise estatística dos dados experimentais revelou uma correlação linear entre a energia cinética dos elétrons emitidos e a frequência da luz incidente, conforme a equação de Einstein para o efeito fotoelétrico: $E_c = hf - \phi$ em que E_c é a energia cinética máxima dos elétrons e ϕ é a função trabalho do material. A função trabalho medida foi 2,10 eV, um valor consistente com a literatura.

4.2 Tendências e Observações

Os dados indicam que o aumento da intensidade luminosa, mantendo-se a frequência fixa, não resultou em aumento na energia cinética dos elétrons emitidos, mas sim em um aumento no número de elétrons. Isso reforça a interpretação corpuscular, na qual a energia dos fótons individuais é independente da intensidade da luz, uma característica incompatível com a descrição ondulatória da luz.

4.3 Relevância dos Resultados

O trabalho alcançou os objetivos propostos, ao demonstrar experimentalmente e matematicamente a quantização da luz e validar o modelo corpuscular em um contexto contemporâneo. Os resultados se mostram relevantes, pois os valores obtidos foram comparados e validados com dados de experimentos semelhantes encontrados na literatura, evidenciando sua consistência e alinhamento com os conhecimentos previamente estabelecidos.

5. CONCLUSÃO

Sendo o objetivo deste artigo desenvolver as mais diversas ideias e informações científicas a respeito da veracidade da teoria que afirma que a luz é uma partícula, faz-se necessário apontar aqui os mais diversos cenários em que essa hipótese foi colocada a prova e a defesa de por que seria, de fato, uma verdade inquestionável no meio científico. Nesse cenário é necessário respeitar a existência de teorias paralelas, destacando-se a ideia da natureza ondulatória da luz. Porém, ao mesmo tempo, a incapacidade de afirmar com veemência a explicação dos experimentos aqui apresentados mostra-se a grande fragilidade dessa segunda visão.

Diante disso, realizando-se a leitura de diversos materiais a respeito do assunto e analisando os diversos argumentos e observações apresentados, é possível apontar diversas evidências que se aliam à ideia da natureza corpuscular da luz, sendo estas, extremamente coesas com os diversos questionamentos efetuados.

Colocando-se a teoria para análise, é simples perceber que sem os levantamentos efetuados, grande parte da física clássica e moderna estaria sob julgamento. Contudo, ao analisarmos o trabalho já realizado e a evolução que foi estabelecida por meio dessa teoria, percebemos que o tempo comprovou sua verdade, sendo compreendida como realidade para diversos outros experimentos posteriores.

6. REFERÊNCIAS

Ben-Dov, Y. (1996). **Convite à física**. Tradução: Maria Luiza X. de A. Borges. Revisão técnica: Henrique Lins de Barros. Jorge Zahar Ed.

Compton, A. H. (1923). **A Quantum Theory of the Scattering of X-Rays by Light Elements**. Physical Review.

Einstein, A. (1905). **Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt**. Annalen der Physik.

Feynman, R. P. (1965). **The Character of Physical Law**. MIT Press.

Hecht, E. (2002). **Optics**. Addison-Wesley.

MOURA, Breno; SILVA, Cibelle. **Os "Anéis de Newton" e a teoria corpuscular da luz**. Instituto de Física de São Carlos, 2001. Disponível em: <https://www.ifsc.usp.br/~cibelle/arquivos/T0154-1.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2024.

OLIVEIRA, Rilavia Almeida de et al. Temas de Natureza da Ciência a partir de episódios históricos: os debates sobre a natureza da luz na primeira metade do século XIX. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, [s. l], v. 37, p. 197-218, abr. 2020. Disponível em: <https://drive.google.com/file/d/1zLmBGfOvOCDToRE4F888CmPtH9gUJDDv/view>. Acesso em: 20 nov. 2024.

Planck, M. (1901). **On the Law of Distribution of Energy in the Normal Spectrum**. Annalen der Physik.

PESSOA JR, Oswald. Luz como Fóton e a Física Quântica. **Filosofia da Física**, [s. l.], 2022.

SANTOS, O. R. dos .; SCHEIFER, E. K. .; SILVA, D. F. da .; BRAGA, W. S. .; FONTES, A. da S. . The study of the dual nature of light in High School . **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 11, n. 6, p. e56911629760, 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i6.29760. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/29760>. Acesso em: 20 nov. 2024.

Tipler, P. A., & Mosca, G. (2009). **Physics for Scientists and Engineers**. W. H. Freeman.

YADAV, Sandeep. **Experimental study of photoelectric effect**. International Journal of Research in Engineering, Science and Management, 2019. Disponível em:

https://www.ijresm.com/Vol.2_2019/Vol2_Iss2_February19/IJRESM_V2_I2_99.pdf
Acesso em: 20 nov. 2024.

<https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/o-efeito-fotoeletrico.html>

Apêndice I - Produto Educacional



Universidade Federal de Santa Catarina
Centro de Ciências Físicas e Matemática - Departamento de Física
Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física
Polo 39 - UFSC

Julia Bristot Matos

PRODUTO EDUCACIONAL

Sequência didática para a realização de um Júri Simulado sobre a
Natureza da Luz e discussão sobre Natureza da Ciência

Florianópolis, 2025

Sequência didática para a realização de um Júri Simulado sobre a Natureza da Luz e discussão sobre Natureza da Ciência

Este produto educacional é parte integrante da dissertação: **Júri Simulado sobre a Natureza da Luz: uma estratégia para discutir aspectos da Natureza da Ciência**, desenvolvida no âmbito do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, polo 39 – UFSC / Florianópolis, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientadora: Gabriela Kaiana Ferreira

Florianópolis, 2025

Agradecimentos:

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - código de financiamento 001.

Sumário

1. Apresentação.....	208
2. Fundamentação teórica.....	210
2.1 Fundamentação Epistemológica.....	210
2.2 Fundamentação Didática.....	217
2.3 Fundamentação Conceitual.....	220
3. A sequência didática.....	226
3.1 A banca de avaliação.....	227
3.2 A preparação para a banca de avaliação.....	229
3.3 A execução da banca de avaliação.....	231
3.4 A avaliação da atividade.....	232
3.5 O questionário VOSE.....	233
4. Planos de aula.....	237
5. Considerações finais.....	245
6. Referências.....	246
Apêndice A - Modelo de edital de pesquisa.....	249
Apêndice B - Modelo de artigo de pesquisa.....	251
Apêndice C - Questionário VOSE.....	253
Apêndice D - Modelo de apresentação para as aulas 1 e 2.....	259
Apêndice E - Lista sugerida de leitura.....	262

1. Apresentação

Prezado professor,

Este produto educacional é parte integrante da dissertação de mestrado intitulada **Júri Simulado sobre a Natureza da Luz: uma estratégia para discutir aspectos da Natureza da Ciência**, do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Nele são apresentados uma sequência de aulas para a realização de um júri simulado como um meio para discussões sobre Natureza da Ciência (NdC) e recursos didáticos para a inserção do debate sobre a natureza da luz e suas propriedades em aulas de Física.

A sequência didática elaborada tem como público-alvo estudantes do terceiro ano do Ensino Médio, tendo em vista que aborda temas como ondulatória (conteúdo tipicamente abordado no segundo ano), eletromagnetismo (conteúdo tipicamente abordado no terceiro ano) e também abre espaço para discussões sobre mecânica quântica. No entanto, o nível de complexidade das discussões fica a critério do professor, podendo instigar os estudantes a abordarem aspectos físicos mais ou menos avançados.

Com a utilização de uma estratégia de ensino por Júri Simulado têm-se objetivo desenvolver habilidades referentes ao debate e argumentação, enquanto a situação proposta de enfrentamento de teorias concorrentes têm objetivo de abordar aspectos epistemológicos de natureza da ciência. Assim, é possível refletir sobre o papel da observação experimental, da criatividade e do convencimento na ciência enquanto os estudantes se utilizam dos mesmos recursos no debate.

O modelo de debate por Júri Simulado pode ser utilizado para discutir outros episódios científicos que envolvam teorias concorrentes, como as teorias de espaço inflacionário ou estático, ou temas controversos na ciência como o uso de energia nuclear, os impactos e efeitos das mudanças climáticas e a produção e consumo de alimentos transgênicos. Sinta-se inspirado para replicar a atividade com temas similares.

Nos próximos capítulos são apresentados os referenciais teóricos epistemológicos, didáticos e de conceitos físicos. Depois, as atividades elaboradas

são descritas de forma a detalhar os passos necessários para a construção de um júri simulado e as etapas da sequência didática para a reflexão sobre natureza da ciência. Ao final, apresenta-se os materiais desenvolvidos para a sua replicabilidade.

Desejamos que este material possa contribuir com a sua prática docente e ser um instrumento para fomentar a discussão sobre a natureza da ciência com os seus estudantes durante as aulas de física.

A autora!

2. Fundamentação teórica

Para desenvolver este trabalho utilizamos três eixos teóricos: o eixo epistemológico - que dá conta das reflexões sobre Natureza da Ciência; o eixo didático - que versa sobre as estratégias de ensino e a dinâmica do Júri Simulado; e o eixo conceitual - que apresenta o conteúdo físico abordado durante o júri. Discorreremos cada um dos eixos na sequência.

2.1 Fundamentação Epistemológica

A epistemologia é a área da filosofia que se concentra na natureza, origem e limites do conhecimento humano. Ela busca elucidar questões sobre a validade do conhecimento científico e as circunstâncias e prerrogativas na qual se dá o abandono de uma teoria. A epistemologia também investiga os diferentes métodos de obtenção de informações para diferentes áreas do conhecimento e os critérios para avaliar a demarcação de um campo científico.

É comum que encontremos a menção ao “Método Científico”, no singular, como um único método no qual os cientistas se baseiam para construir e validar o conhecimento científico. Essa menção faz relação ao que os epistemólogos classificam como uma visão empírico-indutiva da ciência, consensualmente entendida como uma visão parcial e defasada do trabalho científico.

Iremos delinear duas visões epistemológicas de ciência, a **empírico-indutiva**, também aqui nomeada como indutivismo ingênuo e o **falsificacionismo**, baseado na obra do filósofo Karl Popper. Traçaremos uma comparação entre os métodos com a intenção de sublinhar os aspectos mais importantes de cada linha teórica para superar a visão ingênua e indutiva da ciência, dando-lhe lugar a uma teoria mais sofisticada como a do falsificacionismo.

De maneira simplificada, o **método empírico-indutivo** da ciência, também batizado como “indutivismo ingênuo” por Alan Chalmers (1993), se utiliza do raciocínio indutivo - que parte de enunciados particulares para generalizações - e da base empírica de observações da natureza para a obtenção do conhecimento. Segundo este método, as informações devem ser coletadas cuidadosamente sob

uma extensa variedade de circunstâncias e repetidas vezes, sem um pré-julgamento dessas condições iniciais. Ao final, realiza-se a catalogação dos dados e, por indução, chega-se à teoria.

Para o indutivista ingênuo, o papel do cientista é de aceitar os dados e desenvolver a teoria para adequar-se a eles, sem a interferência de crenças pessoais ou culturais. A observação é considerada como uma base segura e confiável, pois, para ele “a fonte da verdade está sempre na experiência, no registro empírico” (MOREIRA; MASSONI, 2016, p. 6). A fonte do conhecimento é a própria natureza, cabe apenas decifrá-la.

Uma das principais críticas a essa visão indutivista se dá ao fato de considerar que a observação deve ser neutra, livre de pressupostos e anteceder a teoria. Segundo os indutivistas, as subjetividades do cientista, suas crenças, imaginação e expectativas devem ser resguardadas e o tratamento dos dados deve ser puramente pragmático. Qualquer pessoa, na posse dos mesmos dados, chegará ao mesmo resultado.

Além disso, a indefinição na exigência da quantidade de observações que devem ser feitas antes de se chegar à afirmação universal é questionável. A saída do indutivista de aumentar a sua base de proposições de observação não deveria ser considerada solução, pois, como sugere Chalmers (1993), “este problema deve ser enfrentado pelo aperfeiçoamento e maior alcance de nossas teorias e não pelo registro interminável de uma lista de observações sem objetivo” (p. 61).

Não obstante, os críticos também sinalizam aqui o problema da indução. O processo lógico da indução não pressupõe a retransmissão da verdade dos argumentos para a conclusão, pois afirmações singulares verdadeiras podem levar à uma conclusão falsa e ainda assim serem logicamente válidas. São inúmeras as situações que demonstram essa inconsistência lógica, como o clássico exemplo do conjunto de afirmações singulares “todos os corvos já observados são pretos” induz à afirmação universal “todos os corvos são pretos”, o que não é necessariamente verdade, pois uma única observação posterior de um corvo não preto invalidaria essa conclusão.

O apelo à determinação da verdade sobre o mundo natural apenas a partir da experiência sensível e as limitações do uso da indução lógica para a obtenção de afirmações universais definitivas são os principais motivos pelos quais os epistemólogos contemporâneos caracterizam esse método como uma descrição

antiquada e limitada do cotidiano científico. A **epistemologia falsificacionista** surge diante dessas falhas do indutivismo como uma alternativa de descrever a essência e o progresso da ciência.

Difundida pelo filósofo Karl Popper, o falsificacionismo considera a ciência como um processo humano, que evolui por tentativa e erro, a partir da elaboração e testes de hipóteses no intuito de superar problemas de teorias anteriores. A premissa do método falsificacionista é construída sobre a ideia de falseabilidade dos argumentos. As teorias não podem ser provadas verdadeiras, porém podem demonstrar-se falsas. Assim, de acordo com Silveira (1996, p. 207),

A falsificabilidade das teorias científicas é coerente com a atitude crítica. Não há formas de se provar a veracidade do conhecimento científico e entretanto a ciência pode perseguir a verdade através da exclusão de teorias falsificadas, substituindo-as por novas teorias que poderão se aproximar mais da verdade.

Neste contexto, uma teoria vigente está constantemente sendo avaliada através de novas e diferentes hipóteses com intuito de falseá-la ou fortalecê-la. Caso essa teoria apresente resultados negativos em relação aos testes, uma nova hipótese substituirá a antiga apenas se puder explicar os novos resultados e também os pontos no qual a sua antecessora era bem sucedida.

Há aqui uma importante distinção entre o *contexto de descoberta* e o *contexto de justificação* das teorias. No processo de proposição das conjecturas, os cientistas podem valer-se de sua criatividade, imaginação, crenças e até da metafísica, porém a sua justificação perante as teorias científicas pré-existentes deve ser rigorosa. “O que as fará integradas ou não ao campo do conhecimento científico é o fato de gerarem consequências passíveis de falsificação” (CASTAÑON, 2017, p. 281).

Uma teoria só deve ser considerada como científica se puder ser posta à prova, portanto cria-se uma delimitação entre o campo da ciência e o que se considera pseudocientífico. Afirmações ambíguas devem ser evitadas, assim como proposições que não podem ser testadas também não são aceitas. Para a delimitação do campo científico a verificabilidade deixa de ser um critério e dá lugar

à refutabilidade, ou seja, deve haver pelo menos um enunciado possível e logicamente válido que conflite com a teoria e que seja passível de ser averiguado.

Para os falsificacionistas, a observação, e por consequência a obtenção dos dados, são associadas e afetadas pela teoria, admitindo que esses dados são tão falíveis quanto a própria teoria que os avalia. A ideia de neutralidade é considerada como um mito filosófico, não há como desprender-se totalmente de suas experiências,

Portanto, toda observação se orienta sempre por expectativas teóricas, conscientes ou inconscientes. Ou seja, nosso corpo de teorias e expectativas sobre a realidade orientam o que do campo conceptual nós destacaremos como relevantes para observação (CASTAÑON, 2017, p. 280)

Isto é, qualquer observação ou teste é influenciado pelos nossos sentidos, concepções e expectativas, o que é aceito e esperado pelo falsificacionista.

O saber científico é tão próximo da verdade quanto puder ser, a depender das condições disponíveis e do contexto da época. “A ciência está à procura da verdade apesar de não haver critérios através dos quais se possa demonstrar que uma dada teoria seja verdadeira” (SILVEIRA, 1996, p. 204). A construção do conhecimento científico é um processo dinâmico e iterativo, em que teorias e dados influenciam-se mutuamente, logo, entende-se que as teorias não são definitivas ou verdadeiras, mas sim nossas melhores aproximações da descrição da natureza no momento.

Uma figura de comparação entre os fundamentos das duas teorias, empírico-indutiva e falsificacionista, foi elaborada reunindo os apontamentos de Silveira (1996), Ostermann e Cavalcanti (2011) e Moreira e Massoni (2016) e pode ser observada a seguir.

Figura 1 - Comparação entre a teoria empírico-indutiva e a teoria falsificacionista da ciência

	TEORIA EMPÍRICO-INDUTIVA DA CIÊNCIA (OSTERMANN; CAVALVANTI, 2011, p. 39)	VS	TEORIA FALSIFICACIONISTA DA CIÊNCIA (SILVEIRA, 1996, p. 217; MOREIRA; MASSONI, 2016, p. 54).
Papel da observação 	A ciência e a atividade observacional devem ser neutras, livres de pressupostos e preconceitos A observação é a fonte do conhecimento. O conhecimento sempre deriva direta ou indiretamente da experiência sensível (sensações e percepções);		Não existe observação neutra, livre de pressupostos; todo o conhecimento está impregnado de teoria; Reconhece-se o papel da observação e experimentação na pesquisa científica sem cair no "reducionismo experimental" (observação e experimentação tomadas como infalíveis, capazes de refutar de forma imediata uma hipótese teórica).
Processos da ciência 	As teorias científicas não são criadas, inventadas ou construídas, mas descobertas através de um conjunto de dados empíricos		O conhecimento científico é criado, inventado, construído com objetivo de descrever, compreender e agir sobre a realidade;
Progresso da ciência 	A evolução do conhecimento científico é cumulativa e linear; O conhecimento científico é obtido por indução; A busca pelo conhecimento é um processo lógico, algorítmico e rígido; seguindo-se rigorosamente as etapas do método científico chega-se necessariamente ao conhecimento científico;		Todo o conhecimento é modificação de algum conhecimento anterior; Não há um método único e algorítmico para fazer ciência (há uma diversidade metodológica); Diferentes campos da ciência requerem diferentes técnicas e metodologias de forma que o quadro conceitual da Física clássica não dá conta dos campos de pesquisa de sistemas complexos;
Essência da ciência 	O conhecimento científico é definitivo;		As teorias científicas não podem ser demonstradas como verdadeiras; são conjecturas, virtualmente provisórias, sujeitas à reformulações, à reconstruções;

Fonte: A autora (2025) com uso do Napkin AI

Esses fundamentos contrastantes entre o falsificacionismo e o indutivismo marcam uma mudança significativa na Filosofia da Ciência e originam uma tendência na epistemologia contemporânea de superação deste indutivismo ingênuo.

Aliado à Filosofia da Ciência precisamos refletir sobre a visão de Natureza da Ciência que desejamos para os nossos alunos. As discussões sobre NdC giram em torno dos aspectos consensuais listados por Lederman *et al* (2002), também encontradas em trabalhos como Abd-El-Khalick *et al* (2008), e Abd-El-Khalick e Lederman (2023). Essa lista de aspectos compreende o que chamamos de visão adequada e sofisticada de ciência.

O **caráter empírico** do conhecimento científico é derivado de observações de fenômenos naturais. No entanto, essas observações são filtradas pela percepção

dos sentidos e/ou pelo funcionamento dos instrumentos científicos. Não temos acesso “direto” à maioria dos fenômenos naturais e a sua interpretação vem carregada de filtros de percepção e compreendidas com base nas estruturas teóricas já elaboradas.

Dessas observações dos fenômenos naturais podemos inferir algumas conclusões. As observações são declarações descritivas sobre os fenômenos naturais. Inferências, por outro lado, são declarações baseadas em manifestações ou efeitos secundários à observação. Um exemplo de observação de objetos caindo em direção ao solo pode gerar o **conhecimento inferencial** de que esse efeito ocorre por causa da gravidade. “Construtos científicos, como a gravidade, são inferenciais no sentido de que só podem ser acessados e/ou medidos por meio de suas manifestações ou efeitos” (ABD-EL-KHALICK; LEDERMAN, 2023, p. 856, tradução nossa).

A ciência é uma atividade humana e criativa, exige que os cientistas desenvolvam experimentos, testes para as suas hipóteses e inventem explicações. Essa **natureza criativa**, juntamente com o caráter inferencial, implica que as teorias são nada mais do que modelos funcionais que se aproximam da descrição da realidade.

Como atividade humana, a ciência também está sujeita às subjetividades do cientista. As crenças, conhecimentos prévios e expectativas influenciam o trabalho científico direta e indiretamente, afetando as observações (tanto no que é quanto no que não será observado) e as interpretações provenientes dessas observações. As observações são **carregadas de teoria** e, portanto, a geração do conhecimento científico está intimamente ligada aos precedentes e expectativas teóricas.

O **caráter tentativo** e provisório do conhecimento científico diz respeito às mudanças que podem vir a ocorrer à medida em que novas evidências e avanços conceituais ou tecnológicos são apresentados. O conhecimento científico é confiável e consistente, mas nunca absoluto, podendo sofrer rupturas, crises e ou evoluções.

Para uma diversidade de áreas do conhecimento e especificidades também existe uma diversidade metodológica. Os cientistas observam, medem, comparam, testam, formulam hipóteses, debatem, constroem ferramentas e aparatos experimentais, formulam explicações, mas nada disso representa uma única sequência de atividades que conduz, de maneira infalível, a alegações válidas. Esse aspecto é conhecido como o **mito do método científico universal**.

Por definição, **teorias científicas** são modelos explicativos que têm por objetivo elucidar um grande conjunto de observações. Quanto menos aparentemente relacionadas são as observações explicadas pela teoria, mais forte ela será. A concordância entre previsões e observações aumenta a confiança na teoria testada.

Já as **leis científicas** são alegações descritivas dos fenômenos naturais, são descrições da relação entre variáveis ou regularidades observáveis nos fenômenos. Ao contrário da crença comum, leis e teorias são tipos diferentes de conhecimento e não são hierarquicamente relacionáveis. As leis científicas são tão legítimas quanto as teorias científicas no sentido de produtos da ciência.

O conhecimento científico depende da comunidade científica que, por sua vez, tem suas agendas e particularidades. A ciência afeta e é afetada por elementos culturais, sociais, filosóficos, religiosos, políticos e econômicos que são inerentes ao ser humano que a pratica. Esses efeitos da **inserção social e cultural da ciência** se manifestam no direcionamento de financiamentos públicos, necessidade iminente de solução de um problema, tal qual o desenvolvimento de vacinas, entre outros.

A comunidade científica como um todo se esforça para minimizar os efeitos subjetivos do fazer científico através da análise coletiva dos dados e teorias. A **dimensão social da ciência** é exemplificada pela revisão por pares, testes duplo-cego, triangulação de dados e outros esforços realizados para aumentar a objetividade do conhecimento científico. Essa cooperação através de interações sociais enriquecem o processo científico aumentando a confiabilidade dos resultados.

Essa lista de dez características compõem uma visão ampla e sofisticada da natureza da ciência, devendo ser compreendidas como complementares entre si. Cabe ressaltar que esses aspectos não formam um conjunto rígido de regras, podendo necessitar de algum ajuste fino nas características elencadas para diferentes áreas da ciência.

Assim, ao ensinar sobre ciência, esses aspectos da natureza da ciência destacados anteriormente devem ser ponderados, o que nos leva às considerações necessárias no processo de ensino-aprendizagem.

2.2 Fundamentação Didática

O ensino básico no Brasil tem passado por diversas reformas em termos de orientações curriculares, vide os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs) do ano de 2000 e, mais recentemente, a nova Base Nacional Comum Curricular (BNCC) de 2018, a qual já possui indicações de mudanças em breve. O que é consenso entre os novos documentos orientadores, e uma tendência também apontada pelos teóricos da educação, é a necessidade de articular os conhecimentos de forma a contextualizar o cotidiano do estudante e propiciar o desenvolvimento de competências e habilidades.

Dentre as indicações, têm-se assinalado amplamente a importância de ensinar sobre o empreendimento científico, em especial com objetivo de superar a visão empírico-indutiva da ciência e aproximar os estudantes do cotidiano científico. O uso de História e Filosofia da Ciência (HFC) é reconhecido como uma estratégia adequada para abordar aspectos da natureza da ciência (FORATO; PIETROCOLA; MARTINS, 2011; GIL PÉREZ *et al*, 2001; MARTINS, 2008; MATTHEWS, 1995; MOURA, 2014; VITAL; GUERRA, 2014). Através da história da ciência é possível discutir diferentes cenários, revelando como os cientistas desenvolveram algumas teorias, suas motivações, influências, interesses e percalços nesse caminho. Já a Filosofia da Ciência permite discutir a origem, a essência, o progresso, as limitações e a validade do conhecimento científico.

Diferentes estratégias metodológicas podem ser utilizadas com o propósito de discutir as concepções de ciência dos estudantes, utilizando a HFC direta ou indiretamente. A sequência didática aqui proposta se interessa pela aplicação da estratégia de ensino “júri simulado” na intenção de que a representação física e visual do contexto de controvérsias da ciência, retratando cenários de debates, possibilite aos estudantes refletirem sobre NdC.

O júri simulado é uma estratégia de ensino baseada em aprendizagem ativa, na qual os participantes interpretam papéis e, assim, são completamente inseridos na problemática. Ao serem divididos em grupos e encarregados de defenderem pontos de vista opostos sobre o mesmo tema, eles precisam pesquisar, organizar ideias e construir argumentos de forma mais estruturada. Esse método de ensino não apenas desafia os alunos a defenderem suas próprias opiniões, mas também os convida a entenderem, respeitarem e aprenderem com as perspectivas alheias.

Atividades de júri simulado são um tipo particular de “*Role-play Game*” (RPG) em que a interpretação de papéis remonta ao cenário de um julgamento. O uso de atividades de simulação de RPG em ciências propicia o envolvimento físico e intelectual dos estudantes, possibilitando que, através da interpretação de papéis, o estudante se sinta na posse de seu próprio aprendizado (MCSHARRY; JONES, 2000, p. 74). O exercício da criatividade e imaginação também são alegações positivas ao uso desse tipo de atividade.

Assim sendo, a estratégia de júri simulado visa replicar o cenário conflituoso de um julgamento, de forma que durante a simulação haverá dois grupos argumentando com posições opostas e um terceiro grupo compondo a banca ou o júri. A recomendação é de que o professor atue de maneira mediadora, intervindo apenas nos momentos extremamente necessários.

Essa defesa também se alinha aos objetivos da pesquisa ao enfatizar o caráter tentativo da ciência e o processo de argumentação entre cientistas sobre teorias concorrentes. Essa dinâmica de avaliação de teorias ocorre também no meio científico, “[...] é com base na força dos argumentos (e nos dados que os sustentam) que os cientistas avaliam reivindicações concorrentes de conhecimento e determinam se devem aceitá-las ou rejeitá-las” (DRIVER; NEWTON; OSBORNE, 2000, p. 297, tradução nossa). Daí o destaque da realização de atividades de debate sobre ciências e sobre aspectos sociocientíficos.

Assim, as recomendações epistemológicas se reforçam no viés didático construtivista, indicando uma relação de coerência entre os referenciais. Neste trabalho, a escolha se deu por uma atividade cuja estratégia se baseia em aprendizagem ativa. Por definição, “As metodologias ativas de aprendizagem entendem, de forma geral, que a aprendizagem é consequência da mobilização de competências para a resolução de um problema prático” (MALHEIROS, 2019, p. 158). O envolvimento cognitivo ativo dos estudantes é a principal característica deste tipo de metodologia, juntamente com o incentivo à participação, reflexão e aplicação prática do conhecimento.

Assim, as estratégias de ensino baseadas em aprendizagem ativa são um conjunto de ações planejadas visando o envolvimento cognitivo do estudante e a sua participação direta na construção do conhecimento, fomentando a interação entre os estudantes e a cooperação entre eles.

De maneira geral, as instruções iniciais para a realização de um júri simulado, inspiradas nas instruções sugeridas por Lima, Sousa e Sitko (2021, p. 11), são:

- Estabelecer uma situação-problema em que os alunos, em grupos, irão analisar e avaliar através de argumentos de defesa e acusação. É necessário que o tema seja de natureza controversa, podendo ser uma controvérsia social ou teórico científica, por exemplo, e possa envolver pelo menos dois pontos de vista durante o debate;
- Organizar os grupos e atribuições de cada aluno. É importante definir a quantidade de alunos por grupo, bem como as tarefas e responsabilidades de cada um antes do início da dinâmica (uma sugestão para a divisão dos grupos e tarefas se encontra na seção 3.1);
- Criar um cronograma claro tanto para os momentos de elaboração dos argumentos, quanto para o momento da encenação do júri. Estipular o tempo para a execução de cada etapa auxilia os estudantes a planejarem suas falas e organizarem melhor as suas estratégias;
- Definir os seus critérios de avaliação para a atividade. Comunique aos estudantes que eles serão avaliados pela sua clareza, fundamentação dos argumentos, respeito com os colegas, e o que mais julgar necessário.

As especificidades das tarefas de cada grupo, tempo de apresentação, réplica e tréplica ficam a depender da quantidade de estudantes, do tempo disponível, da complexidade do tema e do engajamento dos estudantes nas discussões. Esses detalhes podem ser modificados a fim de melhor contemplar o contexto de aplicação.

Por fim, defende-se que uma atividade de júri simulado pode apresentar diversos benefícios e proporcionar um ambiente frutífero para o desenvolvimento de competências e habilidades, como recomendado pelos documentos orientadores da educação no Brasil. “O método desenvolve no aluno a capacidade argumentativa, a tomada de decisões, a defesa das ideias, julgamentos, além de promover o senso crítico” (LIMA; SOUSA; SITKO, 2021, p. 11). Além disso, ao inserir episódios da história da ciência e aspectos de epistemologia, torna-se possível a abordagem de características da natureza da ciência.

2.3 Fundamentação Conceitual

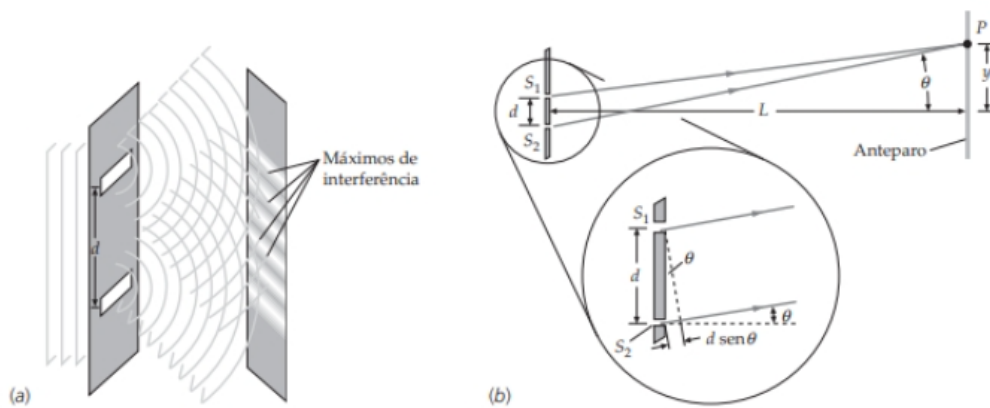
A natureza da luz, desde a Antiguidade, foi tema de especulações científicas e filosóficas. No entanto, foi a partir do Século XVII que surgiram as teorias mais sistemáticas sobre este conceito. Isaac Newton (1643-1727) foi precursor de uma teoria corpuscular materialista e Christiaan Huygens (1629-1695) iniciou a discussão sobre uma possível natureza ondulatória para a luz. Aqui, faremos um breve resumo sobre os experimentos cruciais para a discussão de uma natureza dual da luz, o experimento da dupla fenda, que demonstra a natureza ondulatória através do fenômeno de interferência e o experimento do efeito fotoelétrico, que demonstra a característica de quantização da energia. Para maior fundamentação, sugerimos consultar o capítulo 4 da dissertação.

O experimento da dupla fenda de Thomas Young

Durante o século XVIII houve um predomínio maior da teoria corpuscular da luz entre os cientistas e essa teoria parecia bem estabelecida. No entanto, essa teoria viria a enfrentar algumas dificuldades no fim do século XVIII. Thomas Young reacendeu os estudos sobre a natureza ondulatória da luz, mesmo sabendo que enfrentaria duras críticas dos teóricos corpuscularistas. Ciente deste enfrentamento, Young procura fazer referências ao trabalho de Newton, indicando que a sua proposta não buscava atacar diretamente a concepção de Newton (MOURA, 2016, p. 130).

O princípio da interferência, proposto por Young, pode ser demonstrado pelo famoso experimento da dupla fenda. Para a configuração do experimento, uma fonte de luz é posicionada em frente a um obstáculo com duas pequenas fendas paralelas. A largura das fendas deve ser da ordem de grandeza do comprimento de onda da luz emitida. Ao passar pelas fendas a luz se torna coerente, pois cada fenda atua como uma fonte linear. A luz é então projetada sobre um anteparo e podemos observar o padrão de interferências se formando (veja a Figura 2).

Figura 2 - Configuração do experimento da dupla fenda



Fonte: TIPLER; MOSCA, 2009, p. 442

Para uma distância entre o obstáculo e o anteparo muito maior do que a distância entre as fendas, $L \gg d$, podemos assumir que o caminho óptico das fendas até o anteparo são linhas paralelas. Assim, a diferença de caminho óptico, ou seja, a diferença da distância percorrida por cada uma das ondas que parte das fendas até um ponto específico no anteparo, é dada por:

$$d \cdot \sin \theta = m\lambda \quad (1)$$

Desta equação é possível obter que quando a diferença de caminho óptico é igual a um múltiplo inteiro de comprimento de onda, ocorre uma interferência construtiva, quando a diferença de caminho óptico é de um meio múltiplo de comprimento de onda ocorre uma interferência destrutiva (TIPLER; MOSCA, 2009).

Para além da descrição detalhada do experimento e suas operacionalidades, queremos discutir as inferências sobre os resultados observados. A principal evidência para a natureza ondulatória da luz está na formação do padrão de interferência no anteparo. Sob a proposição da luz como pequenos corpúsculos, o resultado esperado seria bem diferente.

Se a emissão da luz fosse na forma de pequenos corpúsculos materiais que se propagam em linha reta, o percurso entre ser emitido e encontrar o anteparo passaria, certamente, por uma ou outra fenda, tendo um caminho bem definido. A região iluminada seria facilmente calculada por probabilidade⁸⁵. No entanto, o que

⁸⁵ Para mais detalhes sobre o cálculo de probabilidade e os resultados para ambos os modelos, sugerimos consultar: FERREIRA, Danilo Cardoso; SOUZA FILHO, Moacir Pereira de. O experimento

vemos é uma região iluminada no anteparo muito mais “espalhada” e com pontos claros e escuros. Essa evidência não é compatível com o modelo corpuscular de luz e evidencia um comportamento tipicamente ondulatório de interferência. Assim, se faz a defesa do argumento ondulatório.

Aos poucos, o cenário da física foi mudando de direção, tendendo a aceitação do modelo ondulatório para a descrição da luz, até que, com a unificação da eletricidade, do magnetismo e da óptica por James Maxwell (1831-1879) consolidou a natureza da luz como uma onda eletromagnética.

A consolidação da teoria eletromagnética e sua unificação com a óptica no século XIX, proporcionou diversos avanços tecnológicos e científicos em diferentes áreas da sociedade. Assim, consolidou-se como um paradigma científico a tentativa de unificação de diversas teorias com a do eletromagnetismo.

O efeito fotoelétrico e o “retorno” à teoria corpuscular

É uma das grandes ironias da história da ciência que no famoso experimento, realizado em 1887, em que Hertz produziu e detectou ondas eletromagnéticas, confirmando assim a teoria ondulatória da luz de Maxwell, tenha sido observado também, pela primeira vez, o efeito fotoelétrico, que levou diretamente à descrição da luz em termos de partículas. (TIPLER; LLEWELLYN, 2014, p. 81)

Esse efeito observado, chamado de efeito fotoelétrico, demonstrava que quando uma superfície de metal era iluminada por um raio de luz com comprimento de onda suficientemente pequeno, elétrons eram emitidos pela placa e produziam corrente elétrica. O resultado, no entanto, demonstrava que a ejeção de elétrons pela placa não dependia da intensidade da luz incidente, mas apenas do seu comprimento de onda.

O resultado predito pela física clássica, a qual considera a luz como uma onda eletromagnética, é de que

O campo elétrico associado a essa onda exerce uma força sobre os elétrons do alvo, fazendo com que oscilem com a mesma frequência que a onda. Quando a amplitude das oscilações de um elétron ultrapassa certo valor, o elétron é ejetado da superfície do alvo. Assim, se a intensidade (amplitude) da onda aumenta, os elétrons deveriam ser ejetados com maior energia. Entretanto, não é isso que acontece. Para uma dada frequência, a energia

virtual da dupla fenda ao nível de ensino médio (Parte I): uma análise clássica do comportamento corpuscular e ondulatório, e o desenvolvimento de um software computacional. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 33, n. 2, p. 697-716, ago. 2016.

máxima dos elétrons emitidos pelo alvo é sempre a mesma, qualquer que seja a intensidade da luz incidente. (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2023, p. 191)

A resposta para esse dilema está na adoção da ideia de energia quantizada para a luz. Einstein, em 1905, ofereceu uma explicação para esse fenômeno observado. “Segundo Einstein, a quantização da energia usada por Planck no problema do corpo negro era, na verdade, uma *característica universal da luz*. Em vez de estar distribuída uniformemente no espaço no qual se propaga, a luz é constituída por quanta discretos, de energia hf ” (TIPLER; LLEWELLYN, 2014, p. 83)

A teoria proposta é de que quando um dos *quanta*, ou *fótons*, chegava à superfície, toda a sua energia era transferida para o elétron, em pacotes. Pela lei da conservação de energia, temos que a energia cinética máxima do elétron emitido, $Ec_{máx}$, é dada pela expressão:

$$Ec_{máx} = hf - \phi \quad (2)$$

em que a energia necessária para remover um elétron da placa ϕ , também conhecida como função trabalho. A equação (2) é conhecida como equação do efeito fotoelétrico.

Assim, quando a energia do fóton, hf , é transferida para um elétron, para que seja emitido essa energia deve ser pelo menos igual a ϕ . Se houver qualquer energia adicional, ela apenas fará com que o elétron seja emitido com maior energia cinética, essa energia adicional não fará com que mais elétrons sejam emitidos.

A comunidade científica tinha grande reticência em encarar as consequências previstas por essa nova abordagem. “O caráter inusitado de suas previsões é que todas se chocavam frontalmente com as previsões das teorias físicas daquele período. Logo, caso ele estivesse certo, o eletromagnetismo de Maxwell era claramente inadequado, como referencial teórico, para dar conta deste fenômeno” (BROCKINGTON, 2005, p. 39).

Assim, iniciava-se novamente o debate sobre a natureza da luz, as concepções aparentemente inconciliáveis da luz, a ondulatória e a corpuscular, seriam palco de uma reflexão, agora mais profunda, sobre as características da natureza e as severas implicações que a aceitação de uma, de outra, ou das duas

poderia causar. No âmago da “Verdadeira Mecânica Quântica” essa discussão se estende inclusive sobre a essência da realidade como determinística ou probabilística.

O debate conceitual e filosófico sobre a natureza da luz ainda é um campo aberto a novas proposições. Não há um consenso entre os físicos sobre o que significa tratar a natureza da luz como dual, apesar de se saber ser necessária essa definição.

Diferentes interpretações foram propostas para o fóton foram desenvolvidas para embasar o comportamento dual da luz. Pessoa Jr. (2003, p. 5-6), apresenta quatro interpretações básicas da dualidade onda-partícula:

1. Interpretação Ondulatória: Antes da detecção, o objeto quântico propaga-se como onda, mas durante a detecção ele torna-se mais ou menos bem localizado, parecendo uma partícula. Não há mais contradição, porque durante um certo tempo temos uma onda espalhada, e *depois* temos uma partícula (ou melhor, um pacote de onda bem estreito), sem que ambos coexistam simultaneamente.

2. Interpretação Corpuscular: o fóton e o elétron seriam na realidade uma partícula, o que é manifesto quando detectamos. Não existe uma onda associada: o padrão de interferência deve ser explicado a partir da interação da partícula com o anteparo que contém as duas fendas.

3. Interpretações dualistas realistas: O objeto quântico se divide em duas partes: uma partícula com trajetória bem definida (mas desconhecida), e uma onda associada. A probabilidade da partícula se propagar em uma certa direção depende da amplitude da onda associada, de forma em que regiões onde as ondas se cancelam não há partícula. Não há mais contradição porque o objeto se divide em *duas partes*, uma sendo só partícula, e a outra só onda.

4. Interpretação da complementaridade: neste caso o “fenômeno” em questão é ondulatório, e não corpuscular, pois não podemos inferir a trajetória passada do quantum detectado. O aspecto corpuscular que observamos na detecção se deve ao “postulado quântico” descoberto por Max Planck e que para Bohr é o fundamento da Teoria Quântica. Este postulado afirma que existe uma *descontinuidade essencial* em qualquer processo atômico, como por exemplo na ionização de átomos de prata na chapa fotográfica devido à ação da luz.

Essas são algumas das interpretações possíveis para a natureza da luz. Como evidenciado, não podemos definir que uma é superior a outra. Cada uma, dentro do seu domínio, oferece uma visão sobre a realidade e uma possível interpretação. Ratificando a proposta da sequência didática, não é possível responder, em essência, qual é a verdadeira natureza da luz. Essa é uma pergunta que nós cientistas estaremos sempre buscando nos aproximar da verdade, se é que ela é possível de ser alcançada.

Por fim, pode-se resumir que esse embate conceitual “É como uma luta entre um tigre e um tubarão: cada qual é supremo em seu próprio elemento, mas indefeso no elemento do outro” (J.J.THOMSON, 1925 *apud* MARTINS; ROSA, 2014, p. 21).

3. A sequência didática

A sequência didática foi estruturada tendo como cerne a realização de um júri simulado e a História e Filosofia da Ciência como pilares estruturantes para as discussões acerca da natureza da ciência. Como objeto de ensino temos a natureza dual da luz, que permite abordar os conceitos de ondulatória, óptica e mecânica quântica.

A sequência de cinco encontros, de 1 hora e 30 minutos de duração cada, começa com a aplicação de um questionário sobre aspectos da natureza da ciência e um momento de reflexão sobre as pautas epistemológicas dispostas nas seções anteriores. O 2º, 3º e 4º encontros são dedicados à preparação e execução do júri simulado sobre a natureza da luz e o último encontro é destinado à reflexão das discussões trazidas à tona no momento do júri, retomando os aspectos de natureza da ciência juntamente com a reaplicação do questionário.

O uso da estratégia de júri visa promover, através do debate, o desenvolvimento de habilidades de oratória e argumentação, além, é claro, da ponderação crítica sobre os conceitos da natureza da luz. Entrelaçado com o momento do debate, o contexto de confronto de teorias científicas permite discorrer sobre os conceitos de verdade na ciência, validade de leis e teorias, neutralidade e demarcação da ciência.

É de suma importância, especialmente em um momento em que a pseudociência se vale muitas vezes de conceitos científicos para envaidecer suas premissas, que os estudantes reflitam sobre os critérios utilizados na validação do conhecimento científico e reconheçam os seus limites. A ciência, como um empreendimento humano, é suscetível a falhas e erros, expectativas, parcialidades e é importante que isso seja admitido sem que se perca o reconhecimento do seu prestígio e seus frutos.

Pensando no contexto de avaliação de teorias no meio científico, o cenário de júri, composto por um juiz, promotor e advogados de acusação e defesa, não parece representativo e adequado, a julgar pela imposição de um “culpado” e um “vencedor”. Por isso, nessa atividade optamos por utilizar a estrutura de debate de um júri simulado, mas com algumas importantes modificações para caracterizá-lo como uma banca de avaliação entre dois grupos de cientistas representantes de

diferentes referenciais teóricos. Assim, a premissa de embate do júri foi mantida, mas os critérios de julgamento foram modificados.

3.1 A banca de avaliação

A escolha de trocar um “júri” por uma “banca” se originou da reflexão sobre a palavra “veredicto”. No meio jurídico, um veredicto é uma decisão, proferida pelo juiz ou pelo júri, que encerra o processo criminal ou civil. Ainda que caiba recurso para reabrir a investigação, a decisão do juiz/júri é soberana. No entanto, não podemos assumir veredictos na ciência. Nossas explicações são transitórias e aproximações do mundo natural, logo não deve-se qualificar nenhuma teoria científica como verdade absoluta.

Essa distinção deve ser feita logo no início da atividade ao determinar a situação problema que orientará o trabalho da banca. A decisão da banca não deve se basear em certo ou errado, mas em elementos que a banca julgue adequados, preferencialmente, a partir de critérios que reflitam aspectos da natureza da ciência que tenham sido discutidos em sala de aula.

Veja o exemplo da situação problema proposta nesta atividade:

SITUAÇÃO PROBLEMA

Dois grupos universitários disputam por subsídio de pesquisa para investigar a natureza da luz. Um dos grupos argumenta a favor da natureza ondulatória e eletromagnética da luz. O outro grupo argumenta a favor da natureza corpuscular da luz como fóton. A equipe que apresentar argumentos mais convincentes perante a banca, mostrando que sua teoria está melhor fundamentada, ganhará o custeio da pesquisa.

A comissão da banca deve decidir pelo grupo com melhor fundamentação e justificativas, analisando as evidências que forem apresentadas e, se for da estratégia do grupo, as evidências desfavoráveis à teoria concorrente. Os critérios de avaliação que a comissão irá utilizar durante a sessão ficará a encargo dos alunos que a compõem. Sugerimos que você professor/a instigue os seus estudantes a refletirem acerca dos aspectos indispensáveis em uma pesquisa

científica, retomando as discussões sobre natureza da ciência e epistemologia das aulas anteriores.

A divisão dos grupos e o papel de cada estudante na atividade também deve ser estabelecido logo no início para uma melhor organização das equipes. A analogia com um júri auxilia os estudantes a compreenderem e visualizarem melhor as suas atribuições. São elas:

- **Presidente da banca (análogo ao papel do juiz/a):** responsável pelo andamento da banca, faz as intervenções necessárias para que tudo ocorra da forma mais organizada possível. É ele/a, também, quem declara a decisão da banca.
- **Comissão julgadora (análogo ao júri):** responsáveis por analisar criticamente os fatos expostos e, ao final, dar o veredicto do grupo que melhor apresentou os seus argumentos e ganhou o custeio da pesquisa. A decisão deve ser unânime.
- **Representante ou pesquisador/a principal do grupo (análogo ao/à advogado/a de defesa ou promotor/a):** apresentam a teoria e interesses do grupo por meio de argumentos coerentes, evidências e apresentação de testemunhas.
- **Pesquisadores/as experimentais (análogo às testemunhas):** apresentam as evidências, fornecem argumentos e provas que podem reforçar o ponto de vista do seu grupo ou contestar os argumentos do grupo adversário.
- **Pesquisadores/as de apoio:** Conhecedores da teoria adversária; Acompanham as apresentações em busca de incongruências ou falhas para apontar na apresentação do grupo contrário.

Seguindo essa disposição, a banca será composta pelo presidente da banca e pela comissão julgadora (sugerimos que a comissão seja formada por 6 a 8 alunos). Cada um dos grupos debatedores será formado pelo representante principal, pesquisadores experimentais e pesquisadores de apoio (sugerimos de 1 a

3 estudantes por categoria). A quantidade de participantes por grupo irá depender, é claro, do número de alunos na turma, mas sugerimos que os grupos não somem mais do que 8 integrantes para que haja uma distribuição homogênea de tarefas entre eles.

3.2 A preparação para a banca de avaliação

Como parte dos deveres da banca, instruímos que a comissão elabore um “EDITAL PARA PROJETOS DE PESQUISA CIENTÍFICA” na intenção de torná-lo público para as equipes antes da realização da banca de avaliação. No edital é necessário esclarecer sobre o propósito do financiamento, os critérios de avaliação da banca, a divulgação e destinação da verba. O modelo para a construção do edital a ser entregue aos alunos se encontra nos apêndices (Apêndice A).

Veja a seguir um trecho da orientação de escrita do Edital de Pesquisa:

DA SELEÇÃO DOS PROJETOS DE PESQUISA

A comissão deverá elaborar e redigir os critérios que utilizará para qualificar as pesquisas e julgar os resultados. Para essa elaboração é sugerido que reflitam sobre o que é relevante ou essencial em uma pesquisa científica; sobre os impactos sociais e aplicações tecnológicas; sobre o embasamento teórico e solidez dos argumentos; sobre domínio e segurança do grupo e o que mais acreditarem que possa contribuir para o esclarecimento da decisão a ser tomada. Podem incluir também itens desclassificatórios.

A elaboração do edital de pesquisa tem como objetivo que os estudantes ponderem sobre as contribuições de pesquisas científicas na sociedade, a importância do investimento em pesquisa, de base ou aplicada, e o que caracteriza uma boa pesquisa. Além disso, a divulgação desses critérios para os grupos debatedores auxilia na organização e autorregulação dos estudantes em reforçar os pontos exigidos.

Para os estudantes que integrarem os grupos debatedores, a tarefa é de construir um documento com os argumentos e fundamentação conceitual da teoria a ser defendida. Este documento deverá ser elaborado na forma de artigo científico (modelo também disponível no apêndice B) com referencial teórico, atividade

experimental, discussão e resultados. A ideia é que os estudantes simulem e incorporem o comportamento de pesquisadores e divulguem as suas conclusões através deste artigo.

Veja um trecho da orientação de escrita do Artigo Científico:

DISCUSSÃO E RESULTADOS

Apresenta-se a discussão: utilize argumentos convincentes e adequados, prova matemática, exemplos, equações, análises estatísticas, padrões/tendências observadas, opiniões e ideias, além da coleção de números coletados e tabulados.

Faça comparações com resultados obtidos por outros pesquisadores, caso existam. Sugira aplicações para o seu trabalho. Retome os objetivos de seu trabalho e discuta a significância dos resultados obtidos. Todo material que for citado deverá constar na lista de referência ao final do texto.

Levando em consideração o nível acadêmico, não será exigido dos alunos originalidade no texto, mas o alerta de plágio é válido. O objetivo da escrita é que os estudantes tenham contato com essa linguagem e que organizem os seus argumentos de forma mais clara. Em um prazo pré-determinado, anterior ao dia da execução da banca, por exemplo, ambos os grupos devem compartilhar os seus textos com o grupo adversário e com a comissão avaliadora.

Cada um dos grupos debatedores possuem requisitos teóricos obrigatórios a serem apresentados. O grupo que defenderá as características ondulatórias e eletromagnéticas da luz deve, obrigatoriamente, esclarecer os conceitos de **propagação, energia, frequência, comprimento de onda e espectro eletromagnético**, além de apresentar o experimento da **Dupla Fenda de Thomas Young**. O grupo que defenderá as características corpusculares da luz como um fóton deve, obrigatoriamente, esclarecer os conceitos de **propagação, quantização de energia e relação com a frequência**, além da demonstração do **Efeito Fotoelétrico**.

Para além dos tópicos citados acima, os estudantes têm liberdade de incrementar a sua pesquisa com outros conceitos que considerarem importantes ou interessantes, aplicações tecnológicas da própria teoria e, se for da estratégia do grupo, pontos desfavoráveis à teoria contrária. O grupo pode, inclusive, trabalhar

com o conceito de dualidade e se utilizar do argumento de complementaridade entre as teorias, afinal, a cooperação também é uma das formas de resolver um conflito. Se essa for a posição adotada pelos seus alunos, incentive-os a instigar a banca pela divisão do prêmio entre os dois grupos.

3.3 A execução da banca de avaliação

No dia da realização da banca, a classe deve ser disposta de maneira que a comissão da banca fique centralizada e os grupos debatedores estejam um em cada lado da sala. É essencial que todos os estudantes estejam visíveis uns aos outros.

Para a sua organização, sugerimos que seja seguido o cronograma disposto abaixo:

1. Abertura: O presidente da banca declara aberta a sessão, realizando uma chamada nominal das partes que irão compor a banca. Logo após, será sorteada a ordem de apresentação dos grupos.

2. Apresentação: Os/as representantes ou pesquisadores/as principais do primeiro grupo sorteado farão a apresentação de todos os aspectos da teoria que defendem. Tempo máximo de 10 minutos.

3. Evidência empírica: A apresentação dos/as pesquisadores/as experimentais é feita na ordem que desejar o seu grupo, apresentando as evidências empíricas de sua teoria. Tempo máximo de 10 minutos para esta etapa.

4. Intervenção inicial da Banca: O presidente abre espaço para que a banca faça perguntas ao primeiro grupo. Limitado a 5 minutos de argumentação.

5. Apresentação: O processo se repete com o segundo grupo - apresentação dos pesquisadores/as principais e experimentais e intervenção inicial da banca.

6. Debate entre os grupos: Os pesquisadores de apoio realizam as perguntas dos grupos, dispostas da seguinte forma:

- Perguntas em 1 minuto;
- Respostas em 2 minutos;
- Réplicas em 1 minuto;
- Tréplicas em 1 minuto.

Após uma série de, no máximo, 3 rodadas de confronto direto entre as equipes, a banca poderá intervir com perguntas para ambos os grupos de debatedores. Novamente, a banca contará com 1 minuto para indagar. Por sua vez, o grupo irá dispor de 2 minutos para a devida resposta e o grupo comenta em 1 minuto.

7. Considerações finais: Os representantes principais de cada grupo terão 5 minutos para reafirmarem suas convicções e argumentos perante a banca.

8. Decisão final: a comissão da banca pondera sobre as teorias apresentadas para decidir sobre a destinação do custeio da pesquisa. É necessário consenso entre os membros da comissão.

9. Encerramento: O presidente da banca irá declarar a decisão do comitê sobre o destino do custeio da pesquisa para um dos grupos, declarando o grupo vencedor.

O controle do tempo deve ser feito pelo presidente da banca, assim como a indicação de todas as etapas. O professor, neste momento, atua como um espectador, interferindo apenas quando extremamente necessário. Deixe que os estudantes exercitem as habilidades de resolução de problemas e persuasão.

3.4 A avaliação da atividade

Os textos produzidos pelos grupos e a realização da banca simulada serão objetos de avaliação da prática. Adicionalmente, o/a professor/a pode solicitar aos grupos que elaborem um relatório com a relação de tarefas e cronograma das

atividades extra-classe, especificando quem cumpriu e como cumpriu cada função. Sugerimos que a avaliação desta atividade seja pautada na participação e discussões durante todo o processo, não apenas nos materiais escritos, avaliando a argumentação, a solução dos problemas e a cooperação entre os estudantes.

O questionário aplicado no início e ao final da atividade não tem objetivo de avaliar o desempenho dos estudantes, mas seu uso é recomendado caso o/a professor/a queira rastrear/acompanhar as modificações nas concepções de natureza da ciência de seus alunos. As questões do questionário também podem ser utilizadas individualmente para guiar as discussões sobre epistemologia.

3.5 O questionário VOSE

A aplicação das questões no primeiro encontro tem como objetivo explorar o potencial do questionário não como instrumento de avaliação, mas como uma ferramenta que incentiva o pensamento crítico e a reflexão nos estudantes, visando promover uma compreensão mais profunda e sofisticada dos conceitos de natureza da ciência.

O questionário a ser utilizado está baseado no “Views on Science and Education Questionnaire⁸⁶” (Questionário sobre Visões de Ciência e Educação), conhecido como VOSE, que foi desenvolvido por Sufen Chen, no ano de 2006. Este questionário, composto por 15 questões, anseia por identificar sete aspectos da natureza da ciência que, de acordo com a autora, são relevantes para o ensino básico. São eles: (1) O caráter tentativo e provisório da ciência; (2) A natureza da observação e sua relação com a teoria; (3) Existência de diferentes métodos de obtenção de dados e conhecimento; (4) Relação entre hipóteses, leis e teorias; (5) O papel da imaginação e criatividade; (6) O processo de validação do conhecimento científico; (7) A objetividade e subjetividade da ciência. (CHEN, 2006, p. 806). Referente ao ensino de ciência, as questões que permaneceram no questionário dizem respeito ao pensamento acerca de (8) ensinar sobre tentatividade e (9) ensinar sobre a metodologia científica. Esses aspectos são baseados em pesquisas anteriores como as de Schwartz e Lederman (2002) e McComas (1996).

⁸⁶ A versão original do questionário VOSE pode ser acessada em: <https://www.physport.org/assessments/assessment.cfm?A=VOSE>

As questões foram traduzidas para o português e algumas (questões 11, 13, 14 e 15 do questionário original) foram excluídas da versão final que utilizamos em nossa investigação, visto que são direcionadas às concepções de educação científica que não correspondem ao foco da pesquisa. Manteve-se as questões originais numeradas de 1 a 10, e a questão 12 do questionário original tornou-se a questão 11 (O questionário encontra-se no Apêndice C).

Cada questão deste instrumento começa com uma afirmação sobre a natureza da ciência. Essa afirmação é seguida por várias sentenças e os estudantes devem se posicionar em uma escala de concordância de cinco pontos variando de “concordo totalmente” até “discordo totalmente”. É importante ressaltar que não há resposta correta. Diferentes respostas apenas classificam o seu estudante como mais adepto ou não a uma posição epistemológica.

Caso se deseje mensurar a posição dos estudantes em relação aos tópicos, a autora sugere que as sentenças sejam agrupadas por tema conforme destacado na Tabela 1, e que as respostas da escala Likert sejam convertidas em valores numéricos, sendo a opção “Discordo Totalmente” igual a “zero” avançando gradualmente até a opção “Concordo Totalmente”, que equivale ao valor “4”. Ao realizar a média das respostas de uma sentença, quanto maior for o valor resultante, maior é o grau de concordância em relação a ela. As sentenças sinalizadas com um asterisco devem ser pontuadas ao contrário, pois a sua discordância é equivalente à posição epistemológica de concordância das outras questões da categoria. Neste caso, a opção “Discordo Totalmente” será igual a 4 e “Concordo Totalmente” igual a zero.

Tabela 1 - Temas de natureza da ciência e as sentenças correspondentes adaptadas do VOSE de Chen (2006)

Temas	Posição filosófica	Sentenças
1. O caráter tentativo e provisório da ciência	Revolucionária	4A
	Cumulativa	4B
	Evolucionária	4C
2. Natureza da observação e sua relação com a teoria	Carregada de teoria	8A, 8B e 8E
	Independente da Teoria	8C e 8D

3. Existência de diferentes métodos de obtenção de dados e conhecimento	Método Universal	9A, 9B e 9F
	Diversos métodos	9C, 9D e 9E
4. Relação entre hipóteses, leis e teorias	Descobertas	5A, 5B, 6A e 6B
	Inventadas	5D, 5E, 5F, 6D e 6E
	Ambas	5C e 6C
	Comparação	7A* e 7B*
	Ideias diferentes	7C e 7D
5. O papel da imaginação e criatividade	Sim	3A e 3B
	Não	3C, 3D e 3E
6. O processo de validação do conhecimento científico	Evidência empírica	1A, 1H*
	Paradigma	1C, 1F
	Parcimônia	1D
	Autoridade	1E
	Intuição	1G
7.1 A subjetividade da ciência	Parcimônia	1D
	Autoridade	1E
	Paradigma	1C, 1F, 8A e 8B
	Fatores pessoais	1G, 8A
	Influência sociocultural	2A, 2B
	Imaginação	3A, 3B
	Metodologia	9D
	Neutralidade	1B
7.2 A objetividade da ciência	Sem influência sociocultural	2C, 2D
	Uso da imaginação	3C, 3E
	Fatos em base experimental	5B, 6B, 8D
	Sem influência de crenças pessoais	8C
	Metodologia	8E, 9A, 9B
	Como um todo	1A*, 1H

8. Ensinar sobre tentatividade	Ensinar sobre tentatividade	11A e 11B
	Evitar ensinar sobre tentatividade	11C, 11D e 11E
9. Ensinar sobre a metodologia científica	Ensinar o método científico universal	10A, 10B, 10C, 10D, 10E e 10F
	Encorajar diferentes métodos	10G, 10H e 10I

Fonte: Traduzido e adaptado de Chen (2006, p. 811-813)

Ao utilizar este instrumento, o/a professor/a deve incentivar os estudantes a lerem todas as sentenças antes de assumir um posicionamento e a ficarem atentos às sentenças contraditórias. Ao final, para fazer a análise das respostas, se o objetivo for classificar a posição epistemológica dos estudantes, busque identificar as categorias com maior média - que representa maior concordância dos estudantes - e com menor média - que representa maior discordância dos estudantes - e analise se as sentenças representam uma visão mais ou menos sofisticada da natureza da ciência, utilizando como referência a literatura da área da educação científica.

4. Planos de aula

Encontro 1: Reflexão Epistemológica - o papel da ciência

Resumo: Aula de apresentação sobre o projeto, detalhando a programação dos encontros, objetos e critérios de avaliação; aplicação do questionário de sondagem e reflexão epistemológica sobre o papel da ciência, validade e limitações.

Objetivos de aprendizagem: Refletir sobre a própria visão de ciência e aspectos da Natureza da Ciência; reconhecer como diferentes posições epistemológicas interpretam a ideia de método e metodologia da ciência; diferenciar as características do indutivismo e do falsificacionismo; reconhecer as limitações da teoria empírico-indutiva da ciência.

Tempo previsto: 1 hora e 30 minutos

Dinâmica: O professor deve apresentar o projeto aos alunos de maneira que consigam visualizar a sua atuação dentro de um júri simulado e fiquem entusiasmados sobre o tema. Conte brevemente sobre as dificuldades teóricas em definir a natureza da luz e que houveram diversas reviravoltas nessa história, mas sem muitos detalhes. A aplicação do questionário tem como objetivo proporcionar aos alunos um momento de reflexão sobre as próprias concepções de ciência. Reforce que o questionário não possui caráter avaliativo e que não há resposta certa ou errada, mas que serve para compreender qual a interpretação do estudante perante às afirmações que se classificam em uma ou outra posição epistemológica. Dedique de 20 a 30 minutos para a aplicação do questionário. A aplicação do questionário pode se dar no formato físico (papel) ou digital (formulário online). A depender da plataforma ou formulário online utilizado pelo professor, a versão digital pode fornecer gráficos classificando as porcentagens e tendências de respostas dos estudantes e facilitar o processo de análise.

Após todos os estudantes concluírem a primeira tarefa, é hora de propor uma discussão sobre epistemologia. Retome algumas perguntas do questionário para fazer conexão com a sua explicação e provoque uma distinção entre o modelo

empírico-indutivo e o falsificacionista, questionando as falhas e limitações do primeiro modelo. O objetivo é que o estudante compreenda que a teoria empírico-indutiva, por mais que facilmente relacionável, quando aprofundada apresenta diversas limitações que não correspondem ao cotidiano científico. Aspectos básicos que fundamentam essa discussão epistemológica podem ser encontrados no item 2.1. Uma sugestão de apresentação com as perguntas condutoras, que pode lhe auxiliar nesta discussão, se encontra no Apêndice D.

Referências e sugestões de leitura para o professor:

Básico: Capítulo 2 da dissertação “Júri Simulado sobre a Natureza da Luz: uma estratégia para discutir aspectos da Natureza da Ciência”.

Intermediário/Superior: Capítulos 1 a 6 do livro “O que é ciência afinal?” de Alan F. Chalmers.

Encontro 2: Reflexão conceitual - a natureza dual da Luz.

Resumo: Breve explicação conceitual sobre as dificuldades de definir a luz como de natureza ondulatória ou corpuscular; divisão dos grupos para compor a banca avaliadora e os grupos de debate; definição das estratégias de cada grupo, atribuição dos participantes e realização da pesquisa bibliográfica.

Objetivos de aprendizagem: Compreender as discussões conceituais sobre a natureza da luz; esquematizar as informações importantes nos grupos em forma de argumentos; exercitar as habilidades de comunicação e organização entre os pares.

Tempo previsto: 1 hora e 30 minutos

Dinâmica: O professor deve apresentar aos seus estudantes os aspectos conceituais importantes para a discussão sobre a natureza da luz. Presume-se que os alunos já tenham aprendido os conceitos básicos de ondulatória e óptica, de modo que você deverá apenas reforçar as principais características. Construa uma revisão em conjunto com os seus estudantes. Reserve 15 minutos para essa etapa.

Assim que os pontos principais forem retomados, apresente o experimento da dupla fenda, idealizado por Thomas Young, reforçando qual seria o resultado esperado caso a luz fosse uma partícula clássica e o comportamento de fato observado no anteparo. Em seguida, conte um pouco sobre a história da física, sobre como a física clássica se consolidou e, então, apresente o Efeito Fotoelétrico e discuta como essa descoberta representou um grande dilema no meio científico. Enfatize a necessidade da quantização de energia e como esse conceito não é compatível com o modelo ondulatório. Será necessário cerca de 45 minutos para essa discussão. Aspectos básicos que fundamentam essa discussão conceitual podem ser encontrados no item 2.3.

Em seguida, divida os estudantes em grupos e deixe-os discorrer e investigar sobre o tema proposto. Destine cerca de 30 minutos para este momento.

Referências e sugestões de leitura para o professor:

Vídeo: “Por Que Precisamos da Dualidade Onda-Partícula?” do canal Ciência Todo Dia. - Link: https://www.youtube.com/watch?v=CgY_zBuK2Cw

Básico: Capítulo 4 da dissertação “Júri Simulado sobre a Natureza da Luz: uma estratégia para discutir aspectos da Natureza da Ciência”.

Intermediário/Superior:

Temas de Natureza da Ciência a partir de episódios históricos: os debates sobre a natureza da luz na primeira metade do Século XIX

Rilávia Almeida de Oliveira, André Ferrer Pinto Martins e Ana Paula Bispo da Silva

Concepções de Dualidade Onda-Partícula: Uma proposta didática construída a partir de trechos de fontes primárias da Teoria Quântica

Nathan Lima, Claudio Cavalcanti e Fernanda Ostermann

Encontro 3: Preparação para o júri simulado e ensaio

Resumo: Desenvolvimento da pesquisa e elaboração da argumentação entre os grupos; pequeno ensaio com os representantes de cada grupo.

Objetivos de aprendizagem: Sintetizar os conceitos importantes para a argumentação do grupo; elaborar as falas para o júri.

Tempo previsto: 1 hora e 30 minutos

Dinâmica: Com a sala organizada em grupos, os estudantes devem utilizar o tempo de aula para organizar os argumentos e finalizar os textos obrigatórios. No Apêndice E você encontra uma lista com sugestões de textos de apoio para compartilhar com os seus estudantes e auxiliá-los nessa fundamentação teórica. O professor atua esclarecendo possíveis dúvidas e auxiliando os estudantes a estruturarem o seu texto. Peça aos alunos que organizem uma lista com os materiais necessários para o encontro seguinte, questionando se irão utilizar projeção de slides, caixa de som, experimento demonstrativo, etc.

Ao final do encontro, os grupos devem compartilhar os textos solicitados com o restante da turma, a fim de que todos possam realizar a leitura de todos os textos. Se necessário, você pode ceder mais tempo para a elaboração e finalização do texto, mas é imprescindível que ele seja entregue antes do quarto encontro, com tempo hábil para todos realizarem a leitura.

Referências e sugestões de leitura para o professor:

Básico: Capítulo 4 da dissertação “Júri Simulado sobre a Natureza da Luz: uma estratégia para discutir aspectos da Natureza da Ciência”.

Intermediário/Superior:

Temas de Natureza da Ciência a partir de episódios históricos: os debates sobre a natureza da luz na primeira metade do Século XIX

Rilávia Almeida de Oliveira, André Ferrer Pinto Martins e Ana Paula Bispo da Silva

Concepções de Dualidade Onda-Partícula: Uma proposta didática construída a partir de trechos de fontes primárias da Teoria Quântica

Nathan Lima, Claudio Cavalcanti e Fernanda Ostermann

Encontro 4: Realização do júri simulado

Resumo: Atividade de banca simulada.

Objetivos de aprendizagem: Explicar, justificar e defender as características fundamentais da natureza da luz; avaliar os argumentos do grupo adversário; exercitar as habilidades de convencimento e resolução de conflitos; exercitar as habilidades de oratória e comunicação.

Tempo previsto: 1 hora e 30 minutos

Dinâmica: Os estudantes se organizam nos grupos previamente divididos e realizam o júri simulado, com a apresentação dos argumentos e contra-argumentos, julgamento e sentença da banca, conforme estrutura apresentada no item 3.3. O professor atua de forma a mediar as discussões e auxiliar nas pesquisas dos grupos e na organização dos argumentos, conforme o item 2.2 apresentado anteriormente.

Referências e sugestões de leitura para o professor:

Básico: Capítulo 3 da dissertação “Júri Simulado sobre a Natureza da Luz: uma estratégia para discutir aspectos da Natureza da Ciência”.

Intermediário/Superior:

Active Learning Methodologies: flipped classroom, peer instruction and the simulated jury in teaching mathematics

Valdineia Rodrigues Lima, Edilene França Pereira Souza e Camila Maria Sitko.

Encontro 5: Conclusão da atividade

Resumo: Finalização da atividade com momento para depoimentos dos participantes sobre o desenvolvimento do júri, os conhecimentos adquiridos e a dinâmica. Aplicação, novamente, do questionário para dimensionar a evolução das concepções dos participantes acerca da natureza da ciência.

Objetivos de aprendizagem: Sintetizar e refletir sobre os conhecimentos adquiridos durante a prática.

Tempo previsto: 1 hora e 30 minutos

Dinâmica: Em uma roda de conversa, o/a professor/a irá propor um momento de compartilhamento de impressões sobre a atividade realizada no encontro anterior. Convide-os para expressar os seus pensamentos, tanto sobre a decisão da banca, quanto sobre a dinâmica proposta. Em seguida, questione sobre, afinal, qual deve ser a real natureza da luz, instigando-os sobre o conceito de dualidade, mas também sobre a ideia de complementaridade entre as teorias e a evolução do conhecimento científico. Por fim, aplique novamente o questionário inicial, se for de seu objetivo dimensionar as mudanças na concepção de ciência dos seus alunos para além dos depoimentos dados.

5. Considerações finais

Essa sequência didática tem como objetivo abordar uma série de aspectos que caracterizam uma visão ampla e sofisticada da natureza da ciência, destacando a importância de compreendê-las de forma complementar. No contexto do ensino, torna-se essencial considerar essas dimensões da natureza da ciência, uma vez que elas oferecem subsídios valiosos para a construção de práticas pedagógicas mais críticas e fundamentadas.

Os conflitos entre modelos explicativos, as mudanças de paradigmas e os debates no interior da comunidade científica despertaram o interesse pelas reflexões desencadeadas pelo estudo da luz e das transformações teóricas que acompanharam sua compreensão ao longo da história da ciência. O estudo desse tema revelou-se particularmente frutífero em proporcionar um espaço para discussões epistemológicas no ambiente escolar.

Desse modo, espera-se, com a aplicação dessa sequência didática, valorizar a argumentação científica e a mobilização de diferentes concepções sobre a natureza da ciência. Esperamos, especialmente, um amadurecimento na forma como os estudantes passem a compreender a ciência: menos como uma sequência linear de descobertas e mais como um processo em constante construção, permeado por debates, conflitos e influências históricas.

Ademais, podemos destacar que uma atividade que propõe o protagonismo dos estudantes se configura como um espaço fértil para o confronto de ideias, exercitar a argumentação e refletir sobre diferentes interpretações da natureza da luz. Nesse ambiente, se faz mais evidente também as concepções alternativas dos conceitos utilizados, uma vez que na elaboração “improvisada” dos argumentos podemos acessar as ideias dos estudantes.

Esperamos que essa sequência didática convide professores e estudantes a vivenciarem a ciência em sua dimensão humana, histórica e argumentativa. A estrutura da proposta e, sobretudo, a realização do júri simulado, mostram-se estratégias frutíferas para promover uma aprendizagem significativa e crítica, com possibilidades de adaptação para outros temas igualmente controversos na história da ciência.

6. Referências

ABD-EL-KHALICK, Fouad *et al.* Representations of nature of science in high school chemistry textbooks over the past four decades. **Journal Of Research In Science Teaching**, [S.L.], v. 45, n. 7, p. 835-855, 23 maio 2008.

ABD-EL-KHALICK, Fouad; LEDERMAN, Norman G.. Research on Teaching, Learning, and Assessment of Nature of Science. **Handbook Of Research On Science Education**, [S.L.], p. 850-898, 25 jan. 2023.

BROCKINGTON, Guilherme. **A Realidade escondida**: a dualidade onda-partícula para estudantes do ensino médio. 2005. 268 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ensino de Ciências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

CASTAÑON, G. A. Cognitivismo e racionalismo crítico. **Psicologia Argumento**, [S. l.], v. 25, n. 50, p. 277–290, 2017.

CHALMERS, Alan Francis. **O que é ciência afinal**. São Paulo: Editora Brasiliense, 1993.

CHEN, Sufen. Development of an Instrument to Assess Views on Nature of Science and Attitudes Toward Teaching Science. **Science & Education**, [S.l.], v. 90, n. 5, p. 803-819, abr. 2006.

DRIVER, Rosalind; NEWTON, Paul; OSBORNE, Jonathan. Establishing the norms of scientific argumentation in classrooms. **Science Education**, S.l., v. 84, n. 3, p. 287-312, abr. 2000.

FORATO, Thaís Cyrino de Mello; PIETROCOLA, Maurício; MARTINS, Roberto de Andrade. Historiografia e natureza da ciência na sala de aula. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 28, n. 1, p. 27-59, 5 jul. 2011.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de Física - Óptica e Física Moderna - Volume 4**. 12. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2023.

LEDERMAN, Norm G. *et al.* Views of nature of science questionnaire: toward valid and meaningful assessment of learners' conceptions of nature of science. **Journal Of Research In Science Teaching**, [S.L.], v. 39, n. 6, p. 497-521, jul. 2002.

LIMA, Valdineia Rodrigues; SOUSA, Edilene França Pereira; SITKO, Camila Maria. Active Learning Methodologies: flipped classroom, peer instruction and the simulated jury in teaching mathematics. **Research, Society And Development**, [S.l.], v. 10, n. 5, p. 1-13, abr. 2021.

MALHEIROS, Bruno Taranto. **Didática Geral**. 2. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2019.

MARTINS, André Ferrer Pinto. História e Filosofia da Ciência no ensino: Há muitas pedras nesse caminho... **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, [S. l.], v. 24, n. 1, p. 112–131, 2008.

MARTINS, Roberto de Andrade; ROSA, Pedro Sergio. **História da teoria quântica: a dualidade onda-partícula, de Einstein a De Broglie**. São Paulo: Livraria da Física, 2014.

MATTHEWS, Michael. História, filosofia e ensino de ciências: a tendência atual de reaproximação. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 12, n. 3, p. 164–214, dez. 1995.

MCSHARRY, Gabrielle; JONES, Sam. Role-play in science teaching and learning. **School Science Review**, [s. l.], v. 82, n. 298, p. 73-82, set. 2000.

MOREIRA, Marco Antonio; MASSONI, Neusa Teresinha. **Subsídios Epistemológicas para o Professor Pesquisador em Ensino de Ciências: epistemologias do século XX**. 2. ed. Porto Alegre: IF-UFRGS, 2016.

MOURA, Breno Arsioli. Newton versus Huygens: como (não) ocorreu a disputa entre suas teorias para a luz. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, [S. l.], v. 33, n. 1, p. 111–141, 2016.

MOURA, Breno Arsioli. O que é natureza da Ciência e qual sua relação com a História e Filosofia da Ciência? **Revista Brasileira de História da Ciência**, Rio de Janeiro, v. 7, n. 1, p. 32-46, 11 nov. 2021

OSTERMANN, Fernanda; CAVALCANTI, Cláudio José de Holanda. **Epistemologia**. Porto Alegre: Evangraf, 2011.

PÉREZ, Daniel Gil *et al.* Para uma imagem não deformada do trabalho científico. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 7, n. 2, p. 125-153, ago. 2001.

PESSOA JUNIOR, Osvaldo. **Conceitos de Física Quântica**. 2. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2005. 189 p.

SILVEIRA, Fernando Lang da. A filosofia da ciência de Karl Popper: o racionalismo crítico. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 13, p. 197-218, dez. 1996

TIPLER, Paul A.; MOSCA, Gene. **Física para Cientistas e Engenheiros - Vol. 2 - Eletricidade e Magnetismo, Ótica, 6ª edição**. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

TIPLER, Paul A.; LLEWELLYN, Ralph A.. **Física Moderna**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2014.

VITAL, Abigail; GUERRA, Andreia. A natureza da ciência no ensino de física: estratégias didáticas elaboradas por professores egressos do mestrado profissional. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, [S. l.], v. 31, n. 2, p. 225–257, 2014.

Apêndice A - Modelo de edital de pesquisa

EDITAL PARA PROJETOS DE PESQUISA CIENTÍFICA: modelo

A comissão avaliadora da banca simulada torna público o presente EDITAL, contendo normas, rotinas e procedimentos que orientam o processo de seleção de Projetos de Pesquisa Científica.

FINALIDADE E OBJETIVOS

(A comissão deve elaborar e redigir o propósito do financiamento da pesquisa. Justifique para a comunidade os motivos e os benefícios que este investimento em ciência irá proporcionar).

Exemplo:

“O objetivo da pesquisa estabelecido pelo REGULAMENTO PARA O DESENVOLVIMENTO DE PESQUISA INSTITUCIONALIZADA, é produzir e divulgar conhecimento conectado com a realidade social, evidenciando sua capacidade de encaminhar propostas para responder às necessidades da comunidade em que está inserido, sempre com base no método científico, respeitados os princípios éticos, de modo que a atividade de pesquisa seja considerada permanente, continuada e parte integrante do aprimoramento do processo de ensino-aprendizagem e da extensão.”

DA SELEÇÃO DOS PROJETOS DE PESQUISA

A seleção dos projetos de pesquisa ficará a cargo da comissão julgadora tendo como critérios de avaliação:

- 1.
- 2.

(A comissão deverá elaborar e redigir os critérios que utilizará para qualificar as pesquisas e julgar os resultados. Para essa elaboração é sugerido que reflitam sobre o que é relevante ou essencial em uma pesquisa científica; sobre os impactos sociais e aplicações tecnológicas; sobre o embasamento teórico e solidez dos argumentos; sobre domínio e segurança do grupo e o que mais acreditarem que possa contribuir para o esclarecimento da decisão a ser tomada. Podem incluir também itens desclassificatórios).

DA DIVULGAÇÃO DO MÉRITO DO PROJETO

(Estabelecer como poderá ser destinada a verba da pesquisa, como será divulgado o resultado e resguardo de direitos da banca).

Apêndice B - Modelo de artigo de pesquisa

MODELO DE ELABORAÇÃO DE ARTIGO: editável

Nome dos autores

Nome

Nome

Nome

RESUMO

O resumo deve conter entre 150 a 250 palavras e apresentar as ideias da pesquisa de maneira objetiva. Deve-se usar o verbo na voz ativa e na terceira pessoa do singular. O resumo terá espaçamento simples (1pt) e tamanho de fonte 12. Indicar aqui os objetivos da pesquisa, a metodologia utilizada e as conclusões. O resumo deve ser seguido de palavras-chave que caracterizam o artigo. Escolha de duas a quatro palavras que resumem bem o tema do artigo.

Palavras-chaves: artigo, modelo, pesquisa.

1. INTRODUÇÃO

A introdução apresenta as principais ideias do artigo e deve seguir a mesma lógica de organização do artigo como um todo. Apenas alguns parágrafos descrevendo os objetivos, a metodologia da pesquisa, um resumo da base teórica e a análise dos resultados. O artigo não precisa ser extenso, mínimo de 4 páginas e sem valor máximo. É sugerido que o artigo tenha entre 6 e 10 páginas.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Apresenta o embasamento da pesquisa. Todos os tópicos essenciais devem ser explicados aqui, os conceitos definidos e as falas referenciadas. O corpo da teoria se encontra aqui.

O primeiro ponto a ser abordado no corpo do artigo é a definição do problema, explique a terminologia e estabeleça claramente os objetivos. Sempre

que um conceito ou fala for apresentada, deverá ser corretamente referenciada. O site “<https://more.ufsc.br>” pode ajudar a gerar corretamente as referências e citações direta ou indireta. O próximo passo é informar sobre materiais e métodos.

3. ATIVIDADE EXPERIMENTAL

Descreve os materiais utilizados e os métodos da atividade experimental. Lembre-se que a partir da leitura do artigo deve ser possível replicar a atividade e obter os mesmos resultados. Pode utilizar imagens e desenhos para ajudar na visualização da atividade e os procedimentos metodológicos empregados para levantamento de dados.

4. DISCUSSÃO E RESULTADOS

Apresenta-se a discussão: utilize argumentos convincentes e adequados, prova matemática, exemplos, equações, análises estatísticas, padrões/tendências observadas, opiniões e ideias, além da coleção de números coletados e tabulados.

Faça comparações com resultados obtidos por outros pesquisadores, caso existam. Sugira aplicações para o seu trabalho. Retome os objetivos de seu trabalho e discuta a significância dos resultados obtidos. Todo material que for citado deverá constar na lista de referência ao final do texto.

5. CONCLUSÃO

A conclusão deve ser elaborada com base nos resultados e nas discussões apresentadas ao longo do artigo, contendo deduções lógicas, claras e concisas. Deve ser um arremate do trabalho, devendo demonstrar o que foi encontrado no decorrer do estudo.

O último elemento do artigo é a lista de referências, que deve aparecer na ordem de citação no texto ou em ordem alfabética.

6. REFERÊNCIAS

Apêndice C - Questionário VOSE

Caro estudante,

Este questionário tem como objetivo coletar informações referentes às suas concepções sobre a natureza da ciência. Assim, solicito que responda com sinceridade às questões apresentadas, garantindo anonimato e confidencialidade das respostas. Agradecemos, antecipadamente, toda sua atenção e auxílio para o desenvolvimento deste estudo.

Informações Gerais
Nome:
Idade:

Questões objetivas sobre natureza da ciência: Views on Science and Education Questionnaire (VOSE)

Cada questão deste questionário começa com uma afirmação sobre a natureza da ciência. A maioria das afirmações adotam um certo radicalismo em sua posição. Você pode concordar completamente, discordar completamente ou ter outros pensamentos sobre elas. Cada afirmação é seguida por várias respostas. Por favor, leia todas as respostas primeiro e então circule a opção ao lado de cada resposta de acordo com o seu conhecimento sobre as atividades científicas e cientistas. Não há resposta correta. Obrigada.

DT = discordo totalmente

D = discordo

I = indiferente

C = concordo

CT = concordo totalmente

Views on Science and Education Questionnaire (VOSE)					
1. Quando duas teorias diferentes acabam por explicar o mesmo fenômeno (exemplo natureza da luz), os cientistas vão aceitar as duas teorias ao mesmo tempo?					
A. Sim, porque os cientistas ainda não podem, objetivamente, dizer qual delas é melhor, portanto, irão aceitar as duas tentativas.	DT	D	I	C	CT
B. Sim, porque as duas teorias podem fornecer explicações sob diferentes perspectivas, não há certo ou errado.	DT	D	I	C	CT
C. Não, porque os cientistas tendem a aceitar a teoria na qual eles estão mais familiarizados.	DT	D	I	C	CT
D. Não, porque os cientistas tendem a aceitar a explicação mais simples e evitar teorias mais complexas.	DT	D	I	C	CT
E. Não, o status acadêmico de cada teórico vai influenciar os cientistas na aceitação da teoria.	DT	D	I	C	CT
F. Não, cientistas tendem a aceitar novas teorias que desviem menos do campo teórico contemporâneo das teorias científicas já estabelecidas.	DT	D	I	C	CT
G. Não, os cientistas usam a intuição para fazer julgamentos.	DT	D	I	C	CT
H. Não, porque há apenas uma verdade, os cientistas não aceitam nenhuma teoria antes de distinguir qual é melhor.	DT	D	I	C	CT

2. Investigações científicas são influenciadas por valores socioculturais.					
A. Sim, valores socioculturais influenciam a direção e os tópicos de investigações científicas.	DT	D	I	C	CT
B. Sim, porque os cientistas que participam na investigação científica são influenciados por valores socioculturais	DT	D	I	C	CT
C. Não, cientistas com bom treinamento são isentos de crenças enquanto estão realizando a pesquisa.	DT	D	I	C	CT
D. Não, porque ciência requer objetividade, o que é o contrário da subjetividade dos valores socioculturais.	DT	D	I	C	CT

3. Quando cientistas estão conduzindo pesquisas científicas, eles usam a imaginação?					
A. Sim, a imaginação é o principal recurso da inovação.	DT	D	I	C	CT
B. Sim, cientistas podem usar sua imaginação mais ou menos na pesquisa científica.	DT	D	I	C	CT
C. Não, a imaginação não é consistente com a lógica dos princípios da ciência.	DT	D	I	C	CT

D. Não, a imaginação pode se tornar um meio para provar seu ponto de vista a todo custo.	DT	D	I	C	CT
E. Não, o uso da imaginação perde a confiabilidade.	DT	D	I	C	CT

4. Mesmo que a investigação científica seja realizada corretamente, a teoria proposta ainda pode ser reprovada no futuro.					
A. A pesquisa científica irá encarar as mudanças revolucionárias e a teoria antiga será substituída.	DT	D	I	C	CT
B. Avanços científicos não podem ser feitos em um curto tempo. É através de um processo cumulativo, logo a teoria antiga é preservada.	DT	D	I	C	CT
C. Com o acúmulo de dados de pesquisa e informações, a teoria irá evoluir cada vez mais acurada e completa, não será reprovada.	DT	D	I	C	CT

5. A <u>teoria científica</u> (por exemplo, seleção natural, teoria atômica) é "descoberta" ou "inventada" pelos cientistas a partir do mundo natural?					
A. Descoberta, porque a ideia estava lá o tempo todo para ser revelada.	DT	D	I	C	CT
B. Descoberta, porque é baseada em fatos experimentais.	DT	D	I	C	CT
C. Alguns cientistas descobrem uma teoria acidentalmente, mas outros cientistas podem inventar uma teoria a partir dos fatos conhecidos.	DT	D	I	C	CT
D. Inventada, porque uma teoria é uma interpretação de fatos experimentais, e os fatos experimentais são descobertos pelos cientistas.	DT	D	I	C	CT
E. Inventada, porque uma teoria é criada ou elaborada pelos cientistas.	DT	D	I	C	CT
F. Inventada, porque uma teoria pode ser refutada.	DT	D	I	C	CT

6. A <u>lei científica</u> (por exemplo, lei da gravitação) é "descoberta" ou "inventada" pelos cientistas a partir do mundo natural?					
A. Descoberta, porque as leis científicas estão lá na natureza, e os cientistas apenas precisam encontrá-las.	DT	D	I	C	CT
B. Descoberta, porque as leis científicas são baseadas em fatos experimentais.	DT	D	I	C	CT
C. Alguns cientistas descobrem uma lei acidentalmente, mas outros cientistas podem inventar uma lei a partir dos fatos	DT	D	I	C	CT

conhecidos.					
D. Inventada, porque os cientistas inventam leis científicas para interpretar fatos experimentais descobertos.	DT	D	I	C	CT
E. Inventada, uma vez que não há absolutos na natureza, portanto, a lei é inventada pelos cientistas.	DT	D	I	C	CT

7. Em comparação com as leis, as teorias têm menos evidências para sustentá-las.					
A. Sim, teorias não são tão definitivas quanto leis.	DT	D	I	C	CT
B. Sim, se uma teoria resistir a muitos testes, ela eventualmente se tornará uma lei; portanto, uma lei tem mais evidências de apoio.	DT	D	I	C	CT
C. Não exatamente, algumas teorias têm mais evidências de apoio do que algumas leis.	DT	D	I	C	CT
D. Não, teorias e leis são tipos diferentes de ideias. Não podem ser comparadas.	DT	D	I	C	CT

8. As observações dos cientistas são influenciadas por crenças pessoais (por exemplo, experiências pessoais, suposições); portanto, eles podem não fazer as mesmas observações para o mesmo experimento.					
A. As observações são diferentes, porque crenças diferentes levam a expectativas diferentes que influenciam a observação.	DT	D	I	C	CT
B. As observações serão as mesmas, porque os cientistas treinados na mesma área têm ideias semelhantes.	DT	D	I	C	CT
C. As observações serão as mesmas, porque, através do treinamento científico, os cientistas podem abandonar valores pessoais para realizar observações objetivas.	DT	D	I	C	CT
D. As observações são as mesmas, porque observações são exatamente o que vemos e nada mais. Fatos são fatos. Interpretações podem ser diferentes de uma pessoa para outra, mas as observações devem ser as mesmas	DT	D	I	C	CT
E. As observações serão as mesmas. Embora a subjetividade não possa ser completamente evitada na observação, os cientistas usam diferentes métodos para verificar os resultados e melhorar a objetividade.	DT	D	I	C	CT

9. A maioria dos cientistas segue o método científico universal, passo a passo, para fazer suas pesquisas (ou seja, formular uma hipótese, projetar um experimento, coletar dados e tirar conclusões).					
A. O método científico garante resultados válidos, claros, lógicos e	DT	D	I	C	CT

precisos. Portanto, a maioria dos cientistas segue o método universal na pesquisa.					
B. A maioria dos cientistas usa o método científico porque é um procedimento lógico.	DT	D	I	C	CT
C. O método científico é útil na maioria dos casos, mas não garante resultados; portanto, os cientistas inventam novos métodos.	DT	D	I	C	CT
D. Não existe o chamado método científico. Os cientistas usam qualquer método para obter resultados.	DT	D	I	C	CT
E. Não há um método científico fixo; o conhecimento científico pode ser descoberto acidentalmente.	DT	D	I	C	CT
F. Não importa como os resultados são obtidos, os cientistas usam o método científico para verificá-los.	DT	D	I	C	CT

10. Os alunos do ensino fundamental e médio devem aprender o procedimento do método científico.					
A. Sim, para que os alunos tenham diretrizes a seguir.	DT	D	I	C	CT
B. Sim, porque os alunos ainda são incapazes de criar métodos mais apropriados.	DT	D	I	C	CT
C. Sim, eles devem aprender o que os cientistas fazem.	DT	D	I	C	CT
D. Sim, porque o método científico é o melhor método que os cientistas desenvolveram até agora.	DT	D	I	C	CT
E. Sim, isso ajuda os alunos a aprender uma maneira objetiva de estudar ciência.	DT	D	I	C	CT
F. Sim, pode ajudar os alunos a entender a essência da ciência.	DT	D	I	C	CT
G. Não, não devemos ensinar apenas um método científico. Os alunos devem ter espaço para pensar e desenvolver seus próprios métodos.	DT	D	I	C	CT
H. Não, não existe o chamado método científico.	DT	D	I	C	CT
I. Não, os professores e alunos devem fazer brainstorming sobre diferentes métodos de pesquisa.	DT	D	I	C	CT

11. Os alunos devem entender que o conhecimento científico pode mudar.					
A. Sim, para que eles compreendam a verdadeira natureza da ciência.	DT	D	I	C	CT
B. Sim, para que eles entendam o motivo pelo qual a ciência	DT	D	I	C	CT

avança.					
C. Não, isso diminuirá o interesse dos alunos em aprender ciência.	DT	D	I	C	CT
D. Não, isso diminuirá a aceitação dos alunos em relação à ciência.	DT	D	I	C	CT
E. Não, os alunos só precisam aprender sobre os fundamentos constantes do conhecimento científico.	DT	D	I	C	CT

Apêndice D - Modelo de apresentação para as aulas 1 e 2

 Júri simulado sobre a Natureza da Luz Professora: Júlia Bristot Matos Componente curricular: Astronomia e Astrofísica Aulas destinadas a série/ano: 3º Ano do Ensino Médio	AULA 1: Questionário 1 Questionário sobre Natureza da Ciência - Link no AVA Questões baseadas no "Views on Science and Education Questionnaire" Responda de acordo com a sua concepção sobre ciência. Não existe resposta correta! Por favor, leia atentamente as questões e ranqueie o seu grau de concordância com cada sentença.
AULA 1: Discussão epistemológica Epistemologia estuda a origem, limites e natureza do conhecimento. Questiona-se sobre a demarcação do campo científico e da validação da ciência. Há diversas linhas epistemológicas, mas iremos nos concentrar em apenas duas: linha empírico-indutiva e linha falsificacionista	AULA 1: Discussão epistemológica A ciência possui um método? Como vocês descreveriam o método científico?
AULA 1: Discussão epistemológica Lógica da concepção empírico-indutiva. Para os indutivistas, o conhecimento é obtido através da cuidadosa observação da natureza, repetidas vezes e sob uma extensa variedade de circunstâncias. O observação e coleta de dados deve ser imparcial, neutra e livre de pressupostos. O cientista deve apenas compilar e analisar os dados.	AULA 1: Discussão epistemológica Quantas observações são necessárias? Sob quantas circunstâncias?
AULA 1: Discussão epistemológica Críticas ao indutivismo: • Indefinição da quantidade de observações necessárias; • Necessidade de um apoio teórico para a definição das circunstâncias importantes ou não para o estudo; • Problema da indução;	AULA 1: Discussão epistemológica Lógica da concepção falsificacionista: Não é possível provar que uma teoria é verdadeira, mas podemos rejeitar as falsas em busca da melhor explicação; Novo critério de demarcação do campo científico; Entende a ciência como um processo humano, imperfeito, provisório e em evolução;

AULA 1: Discussão epistemológica

Lógica da concepção **falsificacionista**:

Não é possível provar que uma teoria é verdadeira, mas podemos rejeitar as falsas em busca da melhor explicação;

Novo critério de demarcação do campo científico;

Entende a ciência como um processo humano, imperfeito, provisório e em evolução;

A base empírica de uma ciência objetiva não tem assim nada de "absoluto". A ciência não repousa sobre um sólido leito pedregoso. A audaciosa estrutura de suas teorias ergue-se como se estivesse sobre um pântano. Ela é como um prédio construído sobre estacas. Estas são impulsionadas para baixo no pântano, mas não para alguma base natural ou "dada"; e se paramos de impulsionar as estacas mais para o fundo não é porque alcançamos solo firme. Nós simplesmente paramos quando ficamos satisfeitos pelas estacas estarem suficientemente firmes para aguentar a estrutura, ao menos por um tempo.

(POPPER, 1968, p. 111 apud CHALMERS, 1993, p. 95)

AULA 1: Discussão epistemológica

Epistemologia contemporânea:

- Diversidade de métodos científicos;
- A ciência não é neutra, imparcial ou descontextualizada;
- O progresso científico não é linear, há disputa entre teorias concorrentes e rupturas;
- A ciência é provisória.

AULA 1: Discussão epistemológica

Como usar a epistemologia para nortear o júri/banca? Existe um veredito em ciência?

Aula 2 - Discussão teórica: A natureza da luz

História da ciência: Breve relato sobre episódios cruciais no desenvolvimento do conceito de natureza da luz até o início do Século XX

Aula 2 - Discussão teórica: A natureza da luz

História da ciência: Breve relato sobre episódios cruciais no desenvolvimento do conceito de natureza da luz até o início do Século XX

Proposta de luz como partícula:

Isaac Newton (Século XVII - 1672): da herança mecanicista, acreditava que a luz era formada por um feixe de partículas, isentas de peso, que se propagavam em linha reta;

Experimentos com prismas e a decomposição da luz branca no espectro visível.

Proposta de luz como onda:

Christiaan Huygens (Século XVII - 1690): propôs que a luz se propaga no éter por meio de onda esféricas;

Princípio de Huygens: cada ponto de uma frente de onda funciona como uma nova frente, propagando-se com a mesma frequência, velocidade e direção da anterior.

Experimento da Dupla Fenda:

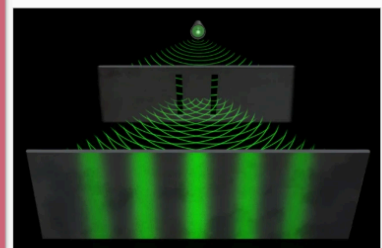
Thomas Young (Século XIX - 1801): Ondas de luz coerentes passam por duas fendas da largura aproximada do seu comprimento de onda e se projetam em um anteparo.

"Se a luz é feita de partículas que se deslocam em linha reta, então só haveria dois focos no anteparo"

Experimento da Dupla Fenda:

Evidências da propagação ondulatória;

Não pode ser explicado pelo modelo de partículas



Teoria eletromagnética de Maxwell:

James Maxwell (Século XIX - 1870): envolvido com equações do eletromagnetismo, constatou que as oscilações no campo eletromagnético se propagavam sempre à velocidade constante;

Primeira explicação da natureza da luz por derivação teórica (não postulada).

Cenário do final do Século XIX:

"A física parecia ter atingido seu ponto máximo de compreensão. As leis de Newton para a mecânica e para a gravitação, que vinham sendo aperfeiçoadas desde o Século XVII, descreviam com grande precisão o comportamento dos corpos celestes e terrestres. Em contrapartida, as propriedades elétricas e magnéticas haviam sido unificadas através da teoria eletromagnética proposta por James C. Maxwell."

"Há só duas nuvens negras ameaçando o horizonte da física - o experimento de Michelson e Morley e o efeito fotoelétrico."

Cenário do final do Século XIX:

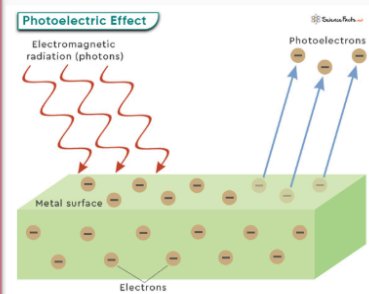
"A física parecia ter atingido seu ponto máximo de compreensão. As leis de Newton para a mecânica e para a gravitação, que vinham sendo aperfeiçoadas desde o Século XVII, descreviam com grande precisão o comportamento dos corpos celestes e terrestres. Em contrapartida, as propriedades elétricas e magnéticas haviam sido unificadas através da teoria eletromagnética proposta por James C. Maxwell."

"Há só duas nuvens negras ameaçando o horizonte da física - o experimento de Michelson e Morley e o efeito fotoelétrico."

Efeito fotoelétrico:

Evidência da natureza quantizada da energia;

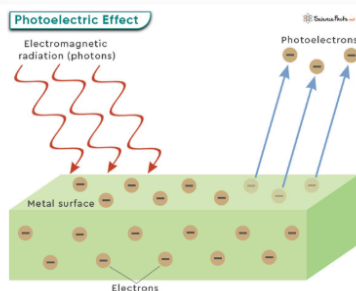
Não pode ser explicado pelo modelo ondulatório (de emissão contínua);



Efeito fotoelétrico:

Evidência da natureza quantizada da energia;

Não pode ser explicado pelo modelo ondulatório (de emissão contínua);



Apêndice E - Lista sugerida de leitura

Escrevo para vocês aqui algumas indicações de leitura que selecionei e que podem ajudar na construção dos argumentos para a realização da Banca Simulada. Farei aqui a indicação de trechos de leitura e alguns comentários sobre os textos e espero que ajude 😊

O estudo da natureza dual da luz no Ensino Médio

Oscar Rodrigues dos Santos, Eliane Kovalek Scheifer, Debora Ferreira da Silva, Wladimir Sérgio Braga e Adriana da Silva Fontes

Referência: SANTOS, Oscar Rodrigues dos *et al.* O estudo da natureza dual da luz no Ensino Médio. **Research, Society And Development**, S.I., v. 11, n. 6, p. 1-19, maio. 2022.

Comentário da professora: texto introdutório aos conceitos de luz como onda e como partícula. O texto recorre a algumas simplificações teóricas e contextuais, então, para um entendimento completo sobre os fenômenos é necessário a leitura complementar dos outros textos.

Leitura essencial: pág. 3 - 8.

O experimento virtual da dupla fenda ao nível de ensino médio (Parte I): uma análise clássica do comportamento corpuscular e ondulatório, e o desenvolvimento de um software computacional

Danilo Cardoso Ferreira e Moacir Pereira de Souza Filho

Referência: FERREIRA, Danilo Cardoso; SOUZA FILHO, Moacir Pereira de. O experimento virtual da dupla fenda ao nível de ensino médio (Parte I): uma análise clássica do comportamento corpuscular e ondulatório, e o desenvolvimento de um software computacional. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 33, n. 2, p. 697-716, ago. 2016.

Comentário da professora: texto com bom embasamento conceitual para a discussão. Pode servir de fonte de estudo dos argumentos e demonstrações. Foco no experimento da dupla fenda de Young.

Leitura essencial: pág. 700 - 712

A Realidade escondida: a dualidade onda-partícula para estudantes do Ensino Médio

Guilherme Brockington

Referência: BROCKINGTON, Guilherme. **A Realidade escondida: a dualidade onda-partícula para estudantes do ensino médio**. 2005. 268 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ensino de Ciências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

Comentário da professora: trecho selecionado retrata o cenário das primeiras hipóteses de quantização de energia e como isso foi aplicado à luz. O texto segue com a descrição dos episódios cruciais para a criação da mecânica quântica “moderna”. A parte que retrata o contexto que abordaremos no júri simulado está destacada como leitura essencial, no entanto, fica o convite a continuar a leitura e descobrir os novos desdobramentos que levaram às consequências mais drásticas da mecânica quântica.

Leitura essencial: pág. 37 - 41

Leitura recomendada: pág. 41 - 52

Temas de Natureza da Ciência a partir de episódios históricos: os debates sobre a natureza da luz na primeira metade do Século XIX

Rilávia Almeida de Oliveira, André Ferrer Pinto Martins e Ana Paula Bispo da Silva

Referência: OLIVEIRA, Rilavia Almeida de; SILVA, Ana Paula Bispo da. Temas de Natureza da Ciência a partir de episódios históricos: os debates sobre a natureza da luz na primeira metade do século XIX. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 37, n. 1, p. 197-218, abr. 2020.

Comentário da professora: Nos trechos selecionados abaixo temos uma pequena contextualização do início das pesquisas da luz como onda. A complexidade do texto original, dedicado ao público do ensino superior, pode ser um empecilho, mas a leitura é válida para a compreensão do contexto.

Leitura recomendada: pág. 199 - 203 e pág. 208 - 209

Concepções de Dualidade Onda-Partícula: Uma proposta didática construída a partir de trechos de fontes primárias da Teoria Quântica

Nathan Lima, Claudio Cavalcanti e Fernanda Ostermann

Referência: LIMA, Nathan; CAVALCANTI, Cláudio; OSTERMANN, Fernanda. Concepções de Dualidade Onda-Partícula: uma proposta didática construída a partir de trechos de fontes primárias da teoria quântica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, [S.L.], v. 43, p. 1-16, out. 2021.

Comentário da professora: trecho escolhido retrata o cenário do início do século XX. O artigo foi elaborado na intenção de utilização com estudantes de graduação, então o formalismo é mais complexo, no entanto, se acharem interessante, contém a tradução de trechos originais dos textos de Einstein.

Leitura recomendada: Seções 3.1 e 3.2
