INSTITUTO FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA
POLO 33

WALACKSON LUANDER BOLSONI CAPATO

O DESENVOLVIMENTO DE PRÁTICAS CIENTÍFICAS E EPISTÊMICAS EM UMA SEQUÊNCIA DE ENSINO INVESTIGATIVA SOBRE DIFRAÇÃO DA LUZ: UMA ABORDAGEM POR MEIO DE SIMULAÇÕES INTERATIVAS E PRÁTICAS EXPERIMENTAIS

Cariacica
2026

WALACKSON LUANDER BOLSONI CAPATO

O DESENVOLVIMENTO DE PRÁTICAS CIENTÍFICAS E EPISTÊMICAS EM UMA SEQUÊNCIA DE ENSINO INVESTIGATIVA SOBRE DIFRAÇÃO DA LUZ: UMA ABORDAGEM POR MEIO DE SIMULAÇÕES INTERATIVAS E PRÁTICAS EXPERIMENTAIS

Dissertação apresentada ao Polo 33 do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física do Instituto Federal do Espírito Santo, *campus* Cariacica, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física. Área de concentração: Física na educação básica.

Orientador: Prof. Dr. Jardel da Costa Brozeguini

Cariacica

2026

(Biblioteca do *Campus* Cariacica do Instituto Federal do Espírito Santo)

C236d Capato, Walackson Luander Bolsoni.

O desenvolvimento de práticas científicas e epistêmicas em uma sequência de ensino investigativa sobre difração da luz: uma abordagem por meio de simulações interativas e práticas experimentais / Walackson Luander Bolsoni Capato. – 2026.

206, [61] f. : il. color.; 30 cm.

Orientador: Jardel da Costa Brozeguini.

Dissertação (mestrado) – Instituto Federal do Espírito Santo, campus Cariacica, Programa de Pós-graduação em Ensino de Física, 2026.

1. Física – Estudo e ensino (Ensino médio). 2. Difração – Estudo e ensino. 3. Aprendizagem experimental. 4. Prática de ensino. I. Brozeguini, Jardel da Costa. II. Instituto Federal do Espírito Santo. *Campus* Cariacica. III. Sociedade Brasileira de Física. IV. Título.

CDD-21: 530.07

(Bibliotecária: Luciana Dumer - CRB6-ES nº 662)

INSTITUTO FEDERAL
Espírito Santo
Campus Cariacica

SBF
SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA

MNPEF Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física

WALACKSON LUANDER BOLSONI CAPATO

O DESENVOLVIMENTO DE PRÁTICAS CIENTÍFICAS E EPISTÊMICAS EM UMA SEQUÊNCIA DE ENSINO INVESTIGATIVA SOBRE DIFRAÇÃO DA LUZ: UMA ABORDAGEM POR MEIO DE SIMULAÇÕES INTERATIVAS E PRÁTICAS EXPERIMENTAIS

Dissertação apresentada ao Polo 33 do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física do Instituto Federal do Espírito Santo, *campus* Cariacica, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física. Área de concentração: Física na educação básica.

Orientador: Dr. Jardel da Costa Brozeguini

Aprovado em 12 de junho de 2026

COMISSÃO EXAMINADORA

gov.br Documento assinado digitalmente
JARDEL DA COSTA BROZEGUINI
Data: 06/07/2026 17:05:54-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Dr. Jardel da Costa Brozeguini - Orientador
Instituto Federal do Espírito Santo

gov.br Documento assinado digitalmente
RAMON TEODORO DO PRADO
Data: 15/07/2026 10:54:54-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Dr. Ramon Teodoro do Prado - Membro interno
Instituto Federal do Espírito Santo

gov.br Documento assinado digitalmente
PAULO VICTOR SANTOS SOUZA
Data: 13/07/2026 17:14:47-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Dr. Paulo Victor Santos Souza - Membro externo
Instituto Federal do Rio de Janeiro

INSTITUTO FEDERAL
Espírito Santo
Campus Cariacica

SBF
SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA

MNPEF Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física

WALACKSON LUANDER BOLSONI CAPATO

CAPATO, Walackson Luander Bolsoni; BROZEGUINI, Jardel da Costa. **A ABORDAGEM DO ENSINO POR INVESTIGAÇÃO NO DESENVOLVIMENTO DAS PRÁTICAS CIENTÍFICAS E EPISTÊMICAS: EXPLORANDO A DIFRAÇÃO DA LUZ POR MEIO DE SIMULAÇÕES INTERATIVAS E PRÁTICAS EXPERIMENTAIS**. Cariacica: Ifes, 2026. 61p.

Produto Educacional apresentado ao Polo 33 do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física do Instituto Federal do Espírito Santo, *campus* Cariacica, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.
Área de concentração: Física na educação básica

Aprovado em 12 de junho de 2026

COMISSÃO EXAMINADORA

gov.br Documento assinado digitalmente
JARDEL DA COSTA BROZEGUINI
Data: 06/07/2026 17:07:29-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Dr. Jardel da Costa Brozeguini - Orientador
Instituto Federal do Espírito Santo

gov.br Documento assinado digitalmente
RAMON TEODORO DO PRADO
Data: 15/07/2026 10:54:54-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Dr .Ramon Teodoro do Prado - Membro interno
Instituto Federal do Espírito Santo

gov.br Documento assinado digitalmente
PAULO VICTOR SANTOS SOUZA
Data: 13/07/2026 17:14:47-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Dr. Paulo Victor Santos Souza - Membro externo
Instituto Federal do Rio de Janeiro

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – código de financiamento 001.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (Fapes) – Nº 101/2022.

Agradeço à Sociedade Brasileira de Física (SBF) pela idealização do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) e ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo (IFES) - campus Cariacica por ser um dos polos que oferecem este programa de pós-graduação no Brasil.

Agradeço a equipe da SEDU e da escola a qual apliquei meu produto educacional por acreditar no potencial deste trabalho e por aprovar a sua aplicação no ambiente escolar.

Agradeço ao meu professor e orientador, Dr. Jardel da Costa Brozeguini, por sua valiosa contribuição no desenvolvimento da dissertação de mestrado. Desde o momento em que aceitou conduzir meu trabalho de pesquisa, mostrou-se comprometido com o desenvolvimento desse projeto, orientando-me com sabedoria, paciência e dedicação. Sua participação foi fundamental para o desenvolvimento do meu projeto, contribuindo significativamente para o meu crescimento acadêmico e pessoal. Reconheço e sou profundamente grato pela sua exemplar dedicação e compromisso.

Agradeço também a todos que me apoiaram e acreditaram que seria possível a realização e conclusão deste trabalho.

RESUMO

Esta pesquisa tem como objetivo analisar as contribuições de um produto educacional fundamentado no ensino por investigação para a aprendizagem de fenômenos da difração e o desenvolvimento de práticas científicas e epistêmicas pelos estudantes. O estudo é de natureza qualitativa e foi conduzido em uma escola pública estadual. A produção e análise dos dados recorreram a observações das interações durante as atividades práticas e ao preenchimento de questionários. Os resultados indicam que o produto educacional favoreceu a compreensão da difração da luz, contribuindo para a assimilação dos conceitos e conectando-os à experimentação. Durante o desenvolvimento das atividades na Sequência de Ensino por Investigação (SEI), as principais práticas desenvolvidas foram: Proposição de ideias (PE1), Comunicação de ideias (PE2), Trabalho com novas informações (PC1) e Levantamento e teste de hipóteses (PC2). Práticas mais avançadas, como Avaliação de ideias (PE3), Legitimação de ideias (PE4) e Construção de explicações e elaboração de justificativas, limites e previsões das explicações (PC3), enfrentaram barreiras cognitivas no desenvolvimento dos conceitos mais abstratos. Considera-se ainda que a metodologia adotada promoveu melhorias substanciais na autonomia, na colaboração e na resolução de problemas entre os estudantes, além de apresentar um recurso de alta replicabilidade e flexibilidade para a prática de outros docentes da educação básica.

Palavras-chave: Ensino de Física. Difração. Ensino por Investigação. Práticas Científicas. Práticas Epistêmicas.

ABSTRACT

This research aims to analyze the contributions of an educational product grounded in inquiry-based teaching to students learning of diffraction phenomena and to the development of their scientific and epistemic practices. The study is qualitative in nature and was conducted at a public state school. Data production and analysis drew on observations of interactions during hands-on activities and on questionnaire responses. The results indicate that the educational product favored students' understanding of light diffraction, contributing to the assimilation of concepts and connecting them to experimentation. During the development of the activities within the Investigative Teaching Sequence (SEI), the main practices developed were: Proposition of ideas (PE1), Communication of ideas (PE2), Working with new information (PC1), and Hypothesis generation and testing (PC2). More advanced practices, such as Evaluation of ideas (PE3), Legitimation of ideas (PE4), and Construction of explanations and elaboration of justifications, limits, and predictions of explanations (PC3), faced cognitive barriers in the development of more abstract concepts. It is also considered that the adopted methodology promoted substantial improvements in students' autonomy, collaboration, and problem-solving skills, in addition to constituting a highly replicable and flexible resource for the practice of other basic education teachers.

Keywords: Physics Teaching. Diffraction. Inquiry-Based Learning. Scientific Practices. Epistemic Practices.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Representação geométrica da propagação de frentes de onda com base no princípio de Huygens. Em (a), observa-se a evolução de uma frente de onda plana e, em (b), de uma frente de onda esférica, ambas geradas envoltória das ondículas secundárias. 73

Figura 2 - Esquema de propagação de frentes de onda: o ponto de observação P recebe contribuições de todas as fontes secundárias localizadas no plano $P1$. 74

Figura 3 - Difração por uma abertura na aproximação de Kirchhof.....75

Figura 4 - Plano da abertura e plano de observação contendo o ponto P onde se pretende obter o valor do campo na aproximação de Fraunhofer.....76

Figura 5 – Difração de Fraunhofer para uma abertura retangular de lados 2a e 2b.78

Figura 6 – Gráfico da função $\sin 2x/\ x2$ 81

Figura 7 - Figura de difração de Fraunhofer de uma fenda retangular cuja altura é o dobro da sua largura. 82

Figura 8 - Difração por uma abertura circular com incidência normal. 84

Figura 9 - Comportamento oscilatório amortecido de $J1(x)/x]2$, característico da intensidade do padrão de difração por abertura circular. A amplitude dos máximos secundários diminui rapidamente com o aumento de x, concentrando a intensidade na região central.....86

Figura 10 - Padrão de difração de Fraunhofer para uma abertura circular, evidenciando o disco central de máxima intensidade e os anéis concêntricos secundários.....87

Figura 11 - Dispositivos complementares 88

Figura 12 - O padrão de difração por uma esfera 89

Figura 13 - À esquerda, uma lanterna e uma bola de gude; à direita, um laser verde e uma microesfera metálica. 105

Figura 14 - Demonstração experimental da projeção da sombra de uma esfera (bola de gude) sob iluminação de lanterna em ambiente obscurecido.....106

Figura 15 - Visualização do Ponto de Fresnel projetado no quadro após o alinhamento preciso do feixe de laser com o centro da pequena esfera. 107

Figura 16 - Organização dos estudantes em grupos para a leitura compartilhada e discussão do texto investigativo sobre a evolução científica e tecnológica. 108
Figura 17 - À esquerda: interface do simulador PhET “Interferência de onda”, evidenciando o comportamento ondulatório da luz. À direita: registro dos estudantes interagindo com o simulador PhET Colorado. 110
Figura 18 - Detalhes da montagem experimental: à esquerda, a base de suporte (trilho) para os componentes; à direita, o dispositivo de fixação do obstáculo (fio de cabelo) para a incidência do laser..... 111
Figura 19 - Estudantes manipulando os materiais empregados na montagem do arranjo experimental para medição da espessura do fio de cabelo por difração de laser..... 112
Figura 20 - Arranjo experimental para a determinação do comprimento de onda do laser: incidência de laser vermelho sobre um fio de cabelo, devidamente fixado aos suportes e alinhado ao trilho óptico..... 114
Figura 21 - Estudantes realizando a prática experimental de medida do comprimento de onda: detalhe do laser acoplado ao suporte e alinhado ao fio de cabelo para projeção do padrão de difração. 115
Figura 22 - Representação visual de padrões de difração gerados por aberturas de diversas geometrias, utilizados como subsídio para a atividade avaliativa. 116
Figura 23 - Aparatos experimentais para análise da interação da luz com a matéria: comparação entre a projeção de sombras definidas e os efeitos de difração em função da dimensão do obstáculo. 120
Figura 24 - Momento de leitura e interpretação textual: estudantes mobilizando práticas epistêmicas para responder questionamentos sobre a evolução histórica da óptica. 128
Figura 25 - Estudantes durante a realização da atividade investigativa de simulação computacional sobre o fenômeno da difração da luz. 135

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Dissertações que relacionam ao ensino de difração com o ensino por investigação e/ou práticas científicas e epistêmicas. 23
Quadro 2 - Artigos que relacionam a difração com o Ensino por Investigação e/ou práticas científicas e epistêmicas. 38
Quadro 3 - Práticas epistêmicas segundo Kelly e Licona (2018) com cada uma das dimensões e as ações esperadas dos estudantes em cada etapa 59
Quadro 4 - Práticas epistêmicas e científicas segundo Sasseron (2018) 60
Quadro 5 - Resumo das atividades desenvolvidas na Sequência de Ensino Investigativa (SEI): Objetivos conceituais, epistêmicos e científicos, situação-problema e dinâmica da atividade. 100

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 13
1.1 OBJETIVOS DA PESQUISA 17
1.2 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO 18
2 REVISÃO DE LITERATURA 21
2.1 DISSERTAÇÕES E TESES RELACIONADAS À CIÊNCIAS DA NATUREZA UTILIZANDO A ABORDAGEM DO ENSINO POR INVESTIGAÇÃO PARA O DESENVOLVIMENTO DE PRÁTICAS CIENTÍFICAS E EPISTÊMICAS 22
2.2 ARTIGOS RELACIONADAS À CIÊNCIAS DA NATUREZA UTILIZANDO A ABORDAGEM DO ENSINO POR INVESTIGAÇÃO PARA O DESENVOLVIMENTO DE PRÁTICAS CIENTÍFICAS E EPISTÊMICAS 37
3 ENSINO POR INVESTIGAÇÃO, PRÁTICAS CIENTÍFICAS E EPISTÊMICAS 49
3.1 INTRODUÇÃO AO REFERENCIAL TEÓRICO 49
3.2 O ENSINO POR INVESTIGAÇÃO 50
3.3 AS PRÁTICAS EPISTÊMICAS E O ENSINO DE CIÊNCIAS 56
3.4 O DESENVOLVIMENTO DE PRÁTICAS EPISTÊMICAS E CIENTÍTICAS 63
4 DIFRAÇÃO DA LUZ 68
4.1 A EVOLUÇÃO DO ESTUDO DA LUZ E A DESCOBERTA DA DIFRAÇÃO 68
4.2 DIFRAÇÃO DA LUZ 72
4.3 A DIFRAÇÃO DE FRAUNHOFER E SUAS APLICAÇÕES 76
4.3.1 Difração por uma abertura retangular 78
4.3.2 Difração por uma abertura circular 83
4.3.3 O princípio de Babinet 87
4.3.4 O ponto claro de Fresnel 90
4.4 ASPECTOS IMPORTANTES NO ENSINO DE FÍSICA 91
5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS E DIDÁTICOS 93
5.1 O AMBIENTE ESCOLAR E OS ESTUDANTES 93
5.1.1 A escola 93
5.1.2 Os estudantes 94
5.1.3 Os aspectos éticos da pesquisa 95
5.1.4 Delineamento metodológico 96
5.1.5 Produção, tratamento e análise dos dados 97

5.2 A SEQUÊNCIA DE ENSINO POR INVESTIGAÇÃO 100
5.2.1 Atividade 1 - Explorando sombras: uma atividade investigativa 104
5.2.2 Atividade 2 – Texto investigativo sobre o comportamento ondulatório da luz 107
5.2.3 Atividade 3 - Simulação computacional do comportamento ondulatório da luz 109
5.2.4 Atividade 4 - Laboratório aberto: Mensurando a espessura do fio de cabelo 111
5.2.5 Atividade 5 - Prática experimental: Medida do comprimento de onda do laser 113
5.2.6 Atividade 6 - Questões abertas: Identificação da geometria das aberturas pelos padrões de difração 116
6 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DA PESQUISA .. 118
6.1 A SEQUÊNCIA DE ENSINO INVESTIGATIVA 119
6.1.1 Apresentação da proposta didática aos estudantes 119
6.1.2 Atividade 1 – Explorando sombras: uma atividade investigativa 120
6.1.3 Atividade 2 – Comportamento ondulatório da luz 128
6.1.4 Atividade 3 - Simulação computacional sobre padrões de difração 135
6.1.5 Atividade 4 - Laboratório aberto: mensurando a espessura do fio de cabelo 145
6.1.6 Atividade 5 - Prática experimental - medida do comprimento de onda do laser 152
6.1.7 Atividade 6 - Questões abertas: Identificação da geometria das aberturas pelos padrões de difração 155
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS 160
REFERÊNCIAS 169
APÊNDICE A - TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE) 172
APÊNDICE B - TERMO DE ASSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TALE) 175
APÊNDICE C – TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA UTILIZAÇÃO DE IMAGEM E SOM DE VOZ PARA FINS DE PESQUISA 178
APÊNDICE D - DEMONSTRAÇÃO INVESTIGATIVA - PONTO CLARO DE FRESNEL 179

APÊNDICE E - LEITURA DE TEXTO - COMPORTAMENTO ONDULATÓRIO DA LUZ.....180
APÊNDICE F - SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL: DIFRAÇÃO POR UM ORIFÍCIO.....187
APÊNDICE G - LABORATÓRIO ABERTO: MENSURANDO A ESPESSURA DO FIO DE CABELO 189
APÊNDICE H - PRÁTICA EXPERIMENTAL MEDIDA DO COMPRIMENTO DE ONDA DO LASER.....192
APÊNDICE I - QUESTÕES ABERTAS: IDENTIFICAÇÃO DA GEOMETRIA DAS ABERTURAS PELOS PADRÕES DE DIFRAÇÃO 194
ANEXO A – DECLARAÇÃO DE ANUÊNCIA PRÉVIA DA SECRETARIA DE ESTADO DA EDUCAÇÃO DO GOVERNO DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO (SEDU) PARA REALIZAÇÃO DA PESQUISA.....197
ANEXO B – PARECER CONSUBSTANCIADO DO COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA COM SERES HUMANOS (CEP).....198
ANEXO C – CARTA DE AUTORIZAÇÃO DA SECRETARIA DE ESTADO DA EDUCAÇÃO DO GOVERNO DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO (SEDU) PARA REALIZAÇÃO DA PESQUISA.....205
PRODUTO EDUCACIONAL 206

1 INTRODUÇÃO

Minha trajetória na educação e o meu olhar para o ensino de Física começaram a ser moldados durante a graduação na Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), onde cursei licenciatura em Física. Desde cedo, busquei vivenciar a disciplina além das salas de aula tradicionais, engajando-me na divulgação científica por meio da participação em eventos como a “Mostra de Física”, que hoje se consolidou como a Mostra de Ciências da UFES. Além disso, atuei como mediador na Escola da Ciência Física, um espaço de educação informal dedicado a apresentar conceitos físicos de forma lúdica e experimental para os mais variados públicos. Essa experiência de traduzir a ciência de maneira palpável e acessível marcou profundamente minha concepção de ensino.

Essas vivências como mediador foram fundamentais para evidenciar a importância da diversificação das práticas no desenvolvimento dos estudantes. Ambas as experiências permitiram a percepção de como a prática experimental pode motivar o estudante a buscar a compreensão do fenômeno observado com afinco.

O ingresso oficial na carreira docente ocorreu em 2020, um momento histórico que impôs desafios imensos. Iniciar a trajetória como professor em meio a uma pandemia global significou aprender a lidar não apenas com as complexidades inerentes à rotina escolar, mas também com as urgências, as incertezas e as adaptações forçadas pelo ensino remoto[1]. Desde então, atuo como professor de Física na rede estadual de ensino do Espírito Santo, onde tenho acumulado uma pluralidade de vivências que enriquecem minha prática diária. Já transitei pelos turnos matutino, vespertino e noturno, lecionando no Ensino Médio regular, em tempo integral, no ensino técnico e na Educação de Jovens e Adultos (EJA). Cada turno ou modalidade de ensino apresenta estudantes diversificados e diferentes desafios educacionais.

[1] A pandemia de Covid-19, causada pelo novo coronavírus (SARS-CoV-2), foi declarada emergência de saúde pública de importância internacional pela Organização Mundial da Saúde (OMS) em janeiro de 2020 e reconhecida como pandemia em março do mesmo ano. No Brasil, as medidas de distanciamento social adotadas para conter a propagação do vírus levaram à suspensão das aulas presenciais em todas as etapas da educação básica, obrigando redes de ensino a implementarem, de forma emergencial, o chamado “ensino remoto emergencial” (ERE).

Foi justamente essa imersão em realidades tão diversas que me levou a refletir sobre o meu papel em sala de aula. Compreender que ensinar não é transferir conhecimento, mas criar as possibilidades para a sua própria produção ou construção (Freire, 2014), é o primeiro passo para reconhecer a complexidade fundamental do processo de ensino-aprendizagem. Essa premissa exige que o professor transite por metodologias distintas, buscando continuamente o engajamento dos estudantes e a apropriação significativa dos conteúdos de Física. É no chão da escola que tais inquietações ganham força e nos provocam a repensar a prática docente. Diante disso, em minha vivência diária na rede estadual, venho abraçando esses desafios que me impulsionam a construir e ressignificar, a cada dia, minha prática como professor e pesquisador.

Como apontam Munford e Lima (2007), é preciso que os estudantes experimentem a ciência não como um conjunto de fatos prontos, mas como um processo de construção de saberes. Porém, historicamente, o ensino de Física foca excessivamente no conteúdo, negligenciando a importância de desenvolver a capacidade de pensar e de resolver problemas dos estudantes. Essa constatação, repetida ao longo de diferentes turmas e anos letivos, fez-me perceber que o ensino tradicional, pautado quase exclusivamente na transmissão de informações, não é mais suficiente para atender às demandas cognitivas e sociais dos estudantes. Faz-se necessário que o aluno não apenas memorize um conteúdo de maneira acrítica, mas que consiga, de fato, identificar e utilizar os conceitos físicos em situações diversas, sejam estas reais ou hipotéticas.

A partir dessa inquietação reflexiva, delimitei o foco desta pesquisa. Ao analisar o currículo da segunda série do Ensino Médio, constatei um gargalo expressivo no trato de certos fenômenos ondulatórios. Especificamente, o tema escolhido para esta sequência de ensino foi a difração da luz. Trata-se de um fenômeno luminoso fascinante, mas que, na prática docente cotidiana, frequentemente é abordado de forma muito superficial ou, por vezes, sequer é lecionado. Essa omissão costuma ocorrer devido ao tempo escasso frente a uma grade curricular vasta e, também, por uma eventual falta de domínio técnico, o que dificulta a contextualização tecnológica exigida por documentos norteadores contemporâneos, como a Base Nacional Comum Curricular (Brasil, 2018).

Para intervir nessa realidade, apoiamo-nos no Ensino por Investigação, uma abordagem que apresenta notável potencialidade não apenas para a aprendizagem conceitual de um tópico específico, mas também para instigar a curiosidade natural dos estudantes. Segundo Carvalho (2013), ao apresentar um problema para ser resolvido em sala de aula, o professor fornece as condições para que o estudante raciocine, construa seu conhecimento e passe do conhecimento espontâneo ao científico. Ademais, essa metodologia permite o desenvolvimento de práticas científicas e epistêmicas.

Desde os anos 2000, o termo práticas epistêmicas vem sendo utilizado na literatura da área para indicar atividades que fogem do padrão de ensino tradicional. De acordo com Kelly e Licona (2018), as práticas epistêmicas são as formas socialmente organizadas pelas quais os membros de um grupo propõem, comunicam, avaliam e legitimam reivindicações de conhecimento. Ao adotar o Ensino por Investigação, possibilitamos indagar o estudante, deslocando-o da posição de mero espectador para a de agente ativo. Conforme destacam Sasseron e Silva (2021), isso envolve atividades manipulativas, discursivas e cognitivas utilizadas para construir e legitimar saberes em sala de aula.

Estudos como os de Silva, Gerolin e Trivelato (2018) corroboram essa perspectiva ao constatarem que atividades investigativas favorecem o desenvolvimento da autonomia intelectual dos estudantes. Segundo Carvalho (2013), tais atividades podem ser estruturadas em uma Sequência de Ensino Investigativa (SEI) para promover essa autonomia. Esse processo vincula-se à alfabetização científica (Sasseron, 2015), que auxilia na formação de cidadãos capazes de aplicar o conhecimento científico em diferentes contextos e de analisar criticamente informações do cotidiano.

Nesse contexto, durante este trabalho de mestrado profissional, foi desenvolvida, aplicada e analisada uma SEI focada no fenômeno de difração da luz em uma turma de Ensino Médio. Buscamos desenvolver o ensino da difração de maneira estruturada, de modo que este trabalho resultou também em um material de apoio pedagógico robusto, ao qual outros professores podem recorrer.

Diante do exposto e tomando como base as fundamentações teóricas delineadas, formulamos a seguinte pergunta norteadora para esta pesquisa: Como o desenvolvimento de práticas epistêmicas e científicas, mediado por uma sequência de ensino investigativa sobre difração da luz, contribui para a construção de sentidos físicos em estudantes do Ensino Médio?

A partir desta pergunta, elaboramos a SEI com atividades diversificadas, visando fornecer mais oportunidades para os estudantes interagirem, pensarem, exporem e discutirem suas teorias. Dessa forma, a sequência permite a abordagem do tema por atividades diversas, proporcionando aos estudantes mais ocasiões para desenvolverem as práticas científicas e epistêmicas.

Para investigar as contribuições do ensino por investigação na compreensão da difração da luz e no desenvolvimento de práticas epistêmicas e científicas, a pesquisa adotará uma abordagem qualitativa de intervenção pedagógica. A coleta de dados ocorreu ao longo da aplicação da SEI, que foi cuidadosamente estruturada. Para garantir uma apreensão abrangente e detalhada das interações e do processo de aprendizagem, a captação das informações foi realizada por meio de diferentes instrumentos. Utilizamos a gravação de áudios das discussões dos estudantes durante as aulas, o recolhimento dos roteiros investigativos respondidos e as anotações contínuas registradas no meu diário de bordo como professor-pesquisador. Além disso, a SEI conta com uma atividade final em que os alunos expressarão os conhecimentos construídos por meio da escrita, de desenhos e de diagramas.

O processo de análise dos dados foi conduzido em duas vertentes complementares, estritamente alinhadas aos objetivos deste trabalho. Primeiramente, as produções individuais e os roteiros permitiram observar a associação do conteúdo na realização das atividades propostas, avaliando a aprendizagem conceitual sobre o fenômeno da difração da luz e a forma como os estudantes representam esse saber. Em um segundo momento, as transcrições das gravações de áudio serviram como material primário para analisar o desenvolvimento de práticas científicas e epistêmcias e a autonomia dos grupos. Apoiando-nos em pesquisadores da área (Kelly, Licona, 2018; Sasseron, 2018; Bodevan, Coelho, 2023), investigamos as falas e as interações dos

estudantes com o intuito de identificar e classificar atitudes que evidenciam o desenvolvimento de práticas epistêmicas e científicas ao longo da aplicação da sequência de ensino.

Tendo em vista as pesquisas já existentes na literatura sobre Ensino de Física e metodologias investigativas, o presente trabalho diferencia-se ao transpor a discussão das práticas epistêmicas para o campo específico da Óptica Física no Ensino Médio da rede estadual. Enquanto muitos estudos focam em áreas clássicas como Mecânica e Termologia, esta pesquisa inova ao articular a cultura investigativa e recursos acessíveis para o ensino da difração da luz, evidenciando como a mediação docente pode transformar um conceito altamente abstrato em objeto de legitimação de saberes pelos estudantes.

1.1 OBJETIVOS DA PESQUISA

A fim de responder ao nosso problema de investigação, apresentamos como objetivo geral: Analisar como o desenvolvimento de práticas epistêmicas e científicas, no contexto de uma sequência de ensino investigativa sobre difração da luz, contribui para a construção de sentidos físicos sobre o fenômeno em estudantes de uma turma do Ensino Médio.

Dessa forma, definimos como nossos objetivos específicos:

- Elaborar e implementar uma Sequência de Ensino Investigativa (SEI) voltada à abordagem da difração da luz;
- Compreender os sentidos produzidos pelos estudantes do Ensino Médio sobre os conceitos associados à difração da luz, e
- Caracterizar as práticas epistêmicas e científicas durante o desenvolvimento das atividades investigativas.
- Analisar as articulações entre as práticas epistêmicas e científicas desenvolvidas e os sentidos físicos construídos pelos estudantes ao longo da SEI.

1.2 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Com o intuito de apresentar detalhadamente o desenvolvimento desta pesquisa e responder aos objetivos propostos, estruturamos a presente dissertação em capítulos que percorrem desde a introdução até a análise dos resultados obtidos na intervenção pedagógica.

No primeiro capítulo, que compreende esta introdução, apresentamos a trajetória do professor-pesquisador, a contextualização do problema de pesquisa e a trajetória reflexiva que motivou o estudo. Além disso, descrevemos a justificativa para a escolha do tema e da metodologia, bem como os objetivos que norteiam o trabalho.

No segundo capítulo, apresentamos a revisão de literatura, explorando trabalhos acadêmicos que abordam o ensino por investigação e as práticas científicas e epistêmicas na área de Ensino de Ciências da Natureza. Estabelecemos, assim, um diálogo com essas produções, comparando seus pontos de convergência e divergência em relação ao nosso estudo.

No terceiro capítulo, detalhamos a fundamentação teórica desta pesquisa, aprofundando os conceitos essenciais do ensino por investigação e as definições de práticas epistêmicas e científicas no contexto do ensino de Física, fundamentando-nos em autores como Kelly, Sasseron e Carvalho. Desta forma, compreendemos as práticas epistêmicas a partir das dimensões de proposição, comunicação, avaliação e legitimação de ideias, conforme as definições de Sasseron e Silva (2021) e Kelly e Licona (2018), enquanto as práticas científicas são articuladas em torno do trabalho com novas informações, do levantamento ou teste de hipóteses e da elaboração de justificativas, seguindo a sistematização de Sasseron (2018). Além disso, apresentamos e discutimos o quadro elaborado por Bodevan e Coelho (2023), utilizado como referencial para a análise dos dados desta investigação.

No quarto capítulo, abordamos os tópicos fundamentais de Física necessários para o estudo da difração, percorrendo a evolução histórica das concepções sobre a natureza da luz, desde as primeiras evidências de Grimaldi até a consolidação da teoria ondulatória por Fresnel. Exploramos a difração de Fraunhofer e suas aplicações

práticas, detalhando o comportamento da luz ao atravessar aberturas retangulares e circulares por meio de modelos matemáticos que descrevem os padrões de intensidade observados. Além disso, discutimos conceitos como o princípio de Babinet e o ponto claro de Fresnel, fenômenos que reforçam a natureza ondulatória da luz. Por fim, relacionamos esses conteúdos a aspectos relevantes para o Ensino de Física, buscando conectar o rigor teórico da óptica física com estratégias didáticas que favoreçam a transposição desses conceitos para a sala de aula do Ensino Médio.

No quinto capítulo, dedicado à metodologia e à estratégia de ação, detalhamos o delineamento da nossa pesquisa qualitativa, o ambiente de aplicação e os participantes envolvidos na intervenção pedagógica. Descrevemos, ainda, os instrumentos de coleta de dados, que incluem as gravações em áudio das discussões, os roteiros investigativos respondidos pelos estudantes e os nossos registros em diário de bordo, bem como os critérios adotados para a análise dessas informações sob a ótica das práticas epistêmicas e científicas. Além disso, apresentamos o processo de construção e fundamentação de cada atividade que compõe a SEI, desde a seleção de simulações interativas da plataforma PhET até a elaboração de práticas experimentais, visando o desenvolvimento de práticas científicas e epistêmicas.

No sexto capítulo, apresentamos a análise e a discussão da aplicação da Sequência de Ensino Investigativa (SEI), detalhando os desdobramentos de cada aula por meio dos diálogos transcritos e dos quadros sistematizados com base nas informações coletadas. Por meio desses registros, buscamos identificar evidências do desenvolvimento de práticas científicas e epistêmicas, bem como a evolução do desenvolvimento conceitual dos estudantes sobre o fenômeno da difração da luz. Para fundamentar essa análise, utilizamos as categorias propostas por Sasseron (2018) e Bodevan e Coelho (2023), que nos permitem mapear como os alunos propõem, comunicam e legitimam o conhecimento científico durante a resolução dos problemas investigativos propostos.

Nas considerações finais, apresentamos o fechamento desta pesquisa, retomando a pergunta norteadora para avaliarmos em que medida a aplicação da SEI contribuiu para o desenvolvimento de práticas científicas e epistêmicas no Ensino Médio. Discutimos os impactos da metodologia adotada na aprendizagem conceitual sobre a

difração da luz e refletimos sobre como a abordagem investigativa favoreceu a autonomia dos estudantes. Além disso, apontamos os limites do estudo, as adaptações necessárias ao contexto escolar e as possíveis contribuições deste trabalho para a área de Ensino de Ciências, especialmente no que tange ao oferecimento de um material de apoio pedagógico robusto para a abordagem de fenômenos ondulatórios.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Para a composição desta revisão de literatura, estabelecemos critérios de inclusão e exclusão, fundamentais para assegurar o alinhamento da prospecção bibliográfica aos nossos objetivos centrais. Delimitamos um recorte temporal recente, priorizando publicações editadas a partir de 2020 na grande área de Ciências da Natureza. Tal escolha visa garantir a atualidade do debate acadêmico, capturando as tendências contemporâneas sobre a construção do conhecimento científico e a implementação de metodologias investigativas no contexto da Educação Básica. Esta delimitação temporal corrobora nossa proposta de investigar o ensino da difração da luz sob uma perspectiva investigativa, uma vez que a SEI desenvolvida utiliza referenciais teóricos do EI.

No que tange à seleção de dissertações, orientamos nossas buscas por combinações de descritores que sintetizam o escopo desta investigação. Incluímos os trabalhos obtidos a partir dos seguintes cruzamentos: “práticas epistêmicas + ensino por investigação + Física”; “práticas científicas e epistêmicas + Física”; e “práticas epistêmicas e científicas + ensino por investigação”. Essas chaves foram essenciais para mapearmos estudos que analisam o ganho conceitual do estudante e os processos de mobilização de práticas epistêmicas durante a construção do saber físico em sala de aula. A escolha destes descritores adapta a nossa pesquisa ao campo das práticas científicas, permitindo que a SEI sobre difração da luz seja analisada não apenas pelo conteúdo de óptica, mas pela mobilização das práticas epistêmicas dos estudantes.

Quanto à seleção de artigos científicos, nossa estratégia abrangeu tanto o cenário nacional quanto o internacional. Para a inclusão dos manuscritos, exigimos a correspondência a combinações específicas em bases de dados, tais como: “*epistemic practices + inquiry-based learning + physics”*; “práticas epistêmicas + Física”; e “práticas epistêmicas + ensino por investigação”. Com esse procedimento, garantimos a integração de estudos validados por pares que apresentam aplicações práticas e reflexões teóricas robustas sobre investigação e práticas científicas. Esta busca internacional expande nossa base teórica ao integrar o conceito global de

Inquiry-Based Learning, validando a estrutura da nossa SEI sobre a natureza ondulatória da luz frente a padrões internacionais no ensino de ciências.

Em contrapartida, estabelecemos critérios de exclusão para refinar a amostra e preservar o foco no objeto de estudo. Desconsideramos publicações anteriores a 2020 e pesquisas que, embora apresentassem os termos de busca, pertenciam a domínios do conhecimento alheios às Ciências da Natureza. Além disso, excluímos trabalhos nos quais as práticas epistêmicas ou o Ensino por Investigação não constituíam o eixo estruturante, bem como documentos em duplicidade e produções sem rigorosa fundamentação ou validação empírica, como por exemplo ensaios de opinião, editoriais e resumos simples em anais de eventos.

2.1 DISSERTAÇÕES E TESES RELACIONADAS À CIÊNCIAS DA NATUREZA UTILIZANDO A ABORDAGEM DO ENSINO POR INVESTIGAÇÃO PARA O DESENVOLVIMENTO DE PRÁTICAS CIENTÍFICAS E EPISTÊMICAS

Nesta seção, apresentamos as dissertações defendidas no cenário acadêmico brasileiro, cujos dados foram extraídos do Catálogo de Teses e Dissertações da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), via Plataforma Sucupira. Como resultado dessa prospecção, identificamos 21 trabalhos (entre teses e dissertações) defendidos no último quinquênio, todos vinculados a programas de pós-graduação em Ensino de Física, Ciências e Matemática, conforme detalhamos no Quadro 1. O expressivo número de 21 produções identificadas corrobora a relevância contemporânea das temáticas de nossa pesquisa, demonstrando que a investigação de práticas epistêmicas em sequências de ensino é um campo fértil e em plena expansão no Brasil.

Quadro 1 - Dissertações que relacionam ao ensino de difração com o ensino por investigação e/ou práticas científicas e epistêmicas.

AUTOR	TIPO	TÍTULO	ANO
Neves, Jefferson Adriano	Tese	Interações discursivas, práticas e movimentos epistêmicos no ensino de relatividade restrita	2020
Bodevan, Jessica Adriane de Souza	Dissertação	O processo de construção de conceitos e o desenvolvimento de práticas científicas e epistêmicas em uma sequência de ensino investigativa sobre Energia Mecânica	2020
Corso, Thiago Marinho Del	Tese	A vista do meu ponto: práticas epistêmicas, argumentos e explicações no contexto de uma sequência de ensino por investigação e História da Ciência	2020
Santana, Uilian dos Santos	Dissertação	A importância da pergunta no ensino de ciências por investigação	2021
Araujo, Ana Livia Baptistella.	Dissertação	As representações multimodais como ferramenta epistêmica no ensino de ciências	2021
Santos, Gabriela Christine	Dissertação	O engajamento disciplinar produtivo e a promoção de práticas epistêmicas por estudantes do ensino médio	2021
Felipe Aragao Freire	Dissertação	Práticas epistêmicas e argumentação em uma atividade investigativa de física	2021
Muchenski, Julio Cesar	Tese	Cultura de Laboratório: design de ensino para refletir, fazer e explicar ciência a partir da sala de aula	2021
Santana, Wanessa Santos	Dissertação	O processo de construção de práticas epistêmicas e científicas no ensino de física moderna e contemporânea	2021
Santos, Raquel Villela de Sousa	Dissertação	Espaço epistêmico e práticas epistêmicas em aulas de ciências baseadas no ensino por investigação	2022
Carlos, Debora Claudino	Dissertação	As oportunidades para agência e práticas epistêmicas em sequências didáticas baseadas no Ensino de Ciências por investigação	2022
Carvalho, Jose de Assis de	Dissertação	O ensino de ciências por investigação na educação infantil: um olhar para o desenvolvimento de práticas epistêmicas por crianças pequenas	2022
Silva, Edyth Priscilla Campos	Dissertação	Práticas Epistêmicas Ao Longo do 8° Ano do Ensino Fundamental: uma Análise do Uso e Avaliação de Evidências em Aulas de Ciências	2022
Barbosa, Alan de Marco	Dissertação	As práticas epistêmicas e a formação de professores de biologia: uma análise da orientação específica de codificação	2022
Cunha, Juciane Silva	Dissertação	A química além da beleza: uma proposta para abordagem das funções orgânicas fundamentada nos cosméticos a partir do ensino por investigação	2022
Balestieri, Paola dos Santos	Dissertação	Uma proposta de formação docente na perspectiva da educação em direitos humanos: por um ensino de física mais humanizado	2023
Silva, Waldemar Victor Martins	Dissertação	Ações de professoras de química para a manifestação de conhecimentos de natureza	2023

		da ciência dos estudantes: uma análise em um contexto de ensino fundamentado em modelagem	
Lima, Noeli Jung Friedrich de	Dissertação	Iniciação científica na área de ciências da natureza no ensino médio e a formação do estudante pesquisador	2023
Costa, David Gadelha da.	Tese	Educação científica humanizadora na educação de pessoas jovens, adultas e idosas: uma proposta pedagógica a partir da articulação entre o ensino de ciências por investigação e a perspectiva dialógico-problematizadora freiriana	2023
Carneiro, Thalita de Oliveira.	Dissertação	Agência epistêmica no 8° ano do ensino fundamental: uma análise de interações discursivas em aulas de Ciências da Natureza	2023
Milagres, Patricia Suziel Lima da Rocha.	Dissertação	Relações com o saber de docentes em relação às atividades experimentais nas aulas de ciências da natureza do ensino médio	2023
Viana, Gabriela Rossi.	Dissertação	Curiosidades e objetos epistêmicos: análise de interações em aulas de Ciências da Natureza nos anos iniciais	2023
Reis, Larissa Tebaldi dos	Tese	Ensino de Ciências por Investigação: Práticas pedagógicas inovadoras para o ensino de biologia no contexto pandêmico e suas contribuições para a práxis docente	2023

Fonte: Autor (2026).

A tese intitulada “Interações discursivas, práticas e movimentos epistêmicos no ensino de relatividade restrita”, defendida por Neves (2020) junto ao Programa de Pós-Graduação em Educação da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), apresenta um estudo focado na análise das interações discursivas emergentes em sala de aula. A investigação deu-se durante o desenvolvimento de uma sequência de ensino sobre os conceitos de espaço e tempo, no âmbito da Teoria da Relatividade Restrita. A pesquisa empírica foi conduzida no contexto do ensino superior, com a participação de graduandos do primeiro período do curso de Licenciatura em Física. O objetivo central do trabalho consistiu em identificar as práticas epistêmicas mobilizadas pelos estudantes, bem como os movimentos epistêmicos do docente na condução das atividades. Adotou-se uma metodologia de natureza qualitativa, cujos dados foram coletados por meio de registros em áudio e vídeo de sete episódios de ensino, posteriormente transcritos e analisados sob a ótica dos processos argumentativos e da mobilização de práticas e movimentos epistêmicos. Ao contrastar Neves (2020) com este trabalho, a convergência está no uso de interações discursivas para mapear práticas epistêmicas e no destaque à mediação docente. Metodologicamente, porém, Neves analisa sete episódios de ensino sobre processos

argumentativos no contexto do Ensino Superior, com foco em Relatividade Restrita, enquanto esta pesquisa se volta à Educação Básica (Ensino Médio), tomando a Óptica, especificamente a difração, como recorte conceitual.

A dissertação intitulada “O processo de construção de conceitos e o desenvolvimento de práticas científicas e epistêmicas em uma sequência de ensino investigativa sobre energia mecânica”, defendida por Bodevan (2020) no Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), descreve uma intervenção pedagógica fundamentada no EI. A pesquisa foi conduzida com estudantes da 1ª série do Ensino Médio de uma escola da rede pública estadual. O objetivo central consistiu em analisar o desenvolvimento de práticas científicas e epistêmicas, bem como o processo de construção de conceitos, durante a implementação de uma SEI focada no tema energia mecânica. Adotou-se uma metodologia qualitativa, do tipo pesquisa-intervenção, com a coleta de dados realizada mediante transcrições de áudio e vídeo das interações discursivas e a análise dos registros escritos produzidos pelos alunos ao longo das atividades. Bodevan (2020) compartilha com esta pesquisa o vínculo institucional (MNPEF/UFES) e um desenho metodológico semelhante, com transcrição de interações discursivas e análise de registros escritos. A diferença está no conteúdo físico e na série trabalhada: Mecânica, com turmas de 1ª série, em oposição à Óptica/difração investigada neste estudo.

A tese “A vista do meu ponto: Práticas epistêmicas, argumentos e explicações no contexto de uma sequência de ensino por investigação e história da ciência”, defendida por Del-Corso (2020) na Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo (USP), descreve um estudo focado na análise do engajamento de estudantes em práticas epistêmicas científico-escolares, a partir da implementação de uma SEI denominada “O Mundo Microscópico”. A pesquisa foi conduzida em dois contextos distintos: no Ensino Superior, com graduandos em Licenciatura em Ciências da Natureza, e na Educação Básica, com turmas do 7º ano do Ensino Fundamental. O objetivo central consistiu em elaborar a referida SEI e construir uma ferramenta de análise metodológica para investigar o engajamento dos discentes nessas práticas, com ênfase na formulação de argumentos e explicações científicas. A metodologia adotada possui natureza qualitativa, com a coleta de dados baseada primordialmente

nos relatórios escritos produzidos pelos estudantes ao término de cada atividade, os quais foram examinados sistematicamente por meio de rubricas elaboradas pelo autor para mapear as práticas epistêmicas em questão. A principal diferença em relação a Del-Corso (2020) é metodológica: sua coleta de dados baseia-se primordialmente em relatórios escritos, examinados por rubricas próprias, aplicados tanto no Ensino Superior quanto no Ensino Fundamental. Este trabalho, por sua vez, prioriza a análise das interações discursivas emergentes em tempo real na sala de aula.

A dissertação intitulada “A importância da pergunta no ensino de ciências por investigação”, defendida por Santana (2021) junto ao Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências e Matemática da Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC), descreve um estudo focado na análise das contribuições das perguntas e das interações discursivas delas decorrentes para o processo de Alfabetização Científica. A pesquisa, de natureza qualitativa e caracterizada como pesquisa de aplicação, acompanhou uma turma do 3º ano do Ensino Fundamental durante a implementação de uma SEI voltada ao estudo do solo e do crescimento vegetal. O objetivo central consistiu em investigar como a formulação de atua como elemento catalisador para o compartilhamento de ideias, o engajamento na investigação e a construção do conhecimento. A metodologia baseou-se na videogravação das aulas e na análise dos registros escritos, com a posterior transcrição e exame dos episódios de ensino fundamentados na perspectiva enunciativo-dialógica de Bakhtin, buscando identificar como tais perguntas suscitam práticas epistêmicas no ambiente escolar. Aproximam-se pela análise qualitativa das interações discursivas como via metodológica central. A distinção está no referencial teórico e no público: Santana (2021) ancora-se na perspectiva enunciativo-dialógica de Bakhtin, com crianças do Ensino Fundamental, em uma SEI sobre solo e crescimento vegetal.

A dissertação intitulada “As representações multimodais como ferramenta epistêmica no ensino de ciências”, defendida por Araujo (2021) junto ao Programa de Pós-Graduação em Educação da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), descreve uma investigação sobre como o emprego de diferentes modos representacionais pode atuar como ferramenta para o desenvolvimento de práticas epistêmicas. A pesquisa foi conduzida em uma turma do Ensino Fundamental de uma escola pública, com o objetivo de compreender como a construção e a interpretação

dessas representações auxiliam os estudantes a produzir, comunicar e avaliar o conhecimento científico. A metodologia adotada possui natureza qualitativa, fundamentada nos referenciais das práticas epistêmicas e da multimodalidade, utilizando a videogravação das aulas e a análise das produções gráficas dos alunos para mapear o engajamento e a evolução do pensamento científico ao longo das atividades. A convergência está no uso de ferramentas externas (simulações, modelos) como suporte ao protagonismo do estudante. A diferença é de foco e de fonte de dados: Araujo (2021) centra-se na multimodalidade, analisando produções gráficas de estudantes do Ensino Fundamental.

A dissertação intitulada “O engajamento disciplinar produtivo e a promoção de práticas epistêmicas por estudantes do ensino médio”, defendida por Santos (2021) junto ao Programa Interunidades em Ensino de Ciências da Universidade de São Paulo (USP), descreve um estudo qualitativo focado na compreensão de como ocorre o Engajamento Disciplinar Produtivo (EDP) e sua relação com a mobilização de práticas epistêmicas. A pesquisa analisou as interações discursivas de três grupos de estudantes da 1ª série do Ensino Médio durante a implementação de uma sequência didática investigativa de Biologia sobre dinâmica populacional, focada no cultivo e registro do crescimento da planta *Lemna sp*. O objetivo central consistiu em investigar como a presença de indicadores de EDP varia entre diferentes aulas e grupos, bem como de que forma a mediação docente influencia esse desenvolvimento intelectual e prático. A metodologia adotada centrou-se na gravação em áudio e vídeo de episódios de ensino, com posterior transcrição e análise fundamentada em uma ferramenta analítica inédita, desenvolvida pela autora para categorizar os níveis de engajamento, engajamento disciplinar e engajamento disciplinar produtivo. Compartilham o público (Ensino Médio) e a mediação docente como elemento-chave para a construção do conhecimento. Metodologicamente, Santos (2021) desenvolve uma ferramenta analítica própria para categorizar níveis de Engajamento Disciplinar Produtivo, aplicada ao ensino de Biologia (dinâmica populacional com Lemna sp.), distinta do referencial de práticas epistêmicas e científicas adotado neste trabalho.

A dissertação intitulada “Práticas epistêmicas e argumentação em uma atividade investigativa de Física”, defendida por Freire (2021) junto ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática da Universidade Federal de Sergipe

(UFS), descreve um estudo focado na análise dos argumentos elaborados por discentes durante uma SEI de Física. A pesquisa foi conduzida com estudantes da 2ª série do Ensino Médio por meio de encontros síncronos em uma plataforma virtual, abordando o fenômeno da dilatação térmica dos sólidos. O objetivo do trabalho consistiu em caracterizar as práticas epistêmicas mobilizadas pelos alunos e as ações mediadoras do professor, considerando suas inter-relações na construção de argumentos. Adotou-se uma metodologia qualitativa, do tipo estudo de caso, com a coleta de dados realizada a partir de gravações em vídeo das videoconferências, registros de chat e respostas a questionários. As transcrições foram examinadas minuciosamente sob a perspectiva do Padrão de Argumento de Toulmin (TAP) e de categorias previamente estabelecidas na literatura da área. A diferença é metodológica e de ambiente: Freire (2021) coleta dados de videoconferências síncronas (vídeo, chat, questionários) sobre dilatação térmica, analisados pelo Padrão de Argumento de Toulmin, um contexto virtual que pode gerar dinâmicas interacionais distintas das observadas presencialmente neste estudo.

A tese intitulada “Cultura de Laboratório: design de ensino para refletir, fazer e explicar ciência a partir da sala de aula”, defendida por Muchenski (2021) junto ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciência e Tecnologia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), descreve uma investigação voltada ao desenvolvimento de um design de ensino que visa superar o modelo tradicional de laboratório didático de Física. A pesquisa foi conduzida na Educação Básica, com a participação de estudantes da 2ª série do Ensino Médio noturno. O objetivo central do trabalho consistiu em analisar princípios para um design de ensino, denominado “Cultura de Laboratório”, que subsidiem o Letramento Científico, permitindo aos discentes pensar, fazer e explicar a ciência efetivamente a partir do ambiente de sala de aula. A metodologia adotada foi a Pesquisa de Design Educacional (*Design-Based Research* - DBR), de natureza qualitativa e desenvolvida em ciclos iterativos, com a coleta de dados realizada mediante observação participante, diários de campo, registros em áudio e vídeo, além da análise das manifestações escritas e orais dos estudantes. Aproximam-se por situar o estudante como protagonista na construção do conhecimento em laboratório. Muchenski (2021), no entanto, emprega a Pesquisa de Design Educacional (DBR), em ciclos iterativos, para validar um design de ensino (“Cultura de Laboratório”) voltado à Termodinâmica, abordagem de desenvolvimento

e validação de produto, diferente do mapeamento de práticas epistêmicas em atividades já estruturadas que este trabalho realiza.

A dissertação intitulada “O processo de construção de práticas epistêmicas e científicas no ensino de física moderna e contemporânea”, defendida por Santana (2021) no Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), descreve um estudo focado na investigação do desenvolvimento de práticas científicas e epistêmicas em atividades investigativas. A pesquisa empírica foi conduzida na Educação Básica com estudantes do Ensino Médio (regular e EJA) de uma escola da rede pública estadual, valendo-se da criação de um clube de astronomia extracurricular, denominado “Estrelas do Amanhã”, para fomentar a investigação de conceitos e a submissão de trabalhos a mostras científicas. O objetivo central consistiu em descrever o processo de inserção dos discentes na cultura científica a partir do trabalho colaborativo, com ênfase em conceitos de Astronomia e Física Moderna e Contemporânea, a exemplo da Teoria da Relatividade Restrita. Adotou-se uma metodologia qualitativa, do tipo pesquisa-intervenção, com a coleta de dados realizada mediante diários de campo da docente, registros em áudio, produções textuais e digitais, além de recortes de interações discursivas ocorridas em grupos de mensagens instantâneas ao longo de dois anos de implementação. A convergência está no contexto (rede estadual do ES) e no protagonismo estudantil. A diferença é de desenho: Santana (2021) acompanha dois anos de um clube extracurricular de astronomia, com dados de diários de campo e mensagens instantâneas, um estudo longitudinal e extraclasse, ao contrário do recorte pontual em atividades de sala de aula aqui analisado.

A dissertação intitulada “Espaço epistêmico e práticas epistêmicas em aulas de ciências baseadas no ensino por investigação”, defendida por Santos (2022) junto ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências da Universidade de São Paulo (USP), analisa de que maneira a ocorrência das práticas epistêmicas relaciona-se ao chamado espaço epistêmico em contextos de aulas investigativas. A pesquisa foi conduzida com estudantes do 8º ano do Ensino Fundamental de uma escola municipal de São Paulo, buscando caracterizar como a orientação didática e as ações docentes influenciam as práticas epistêmicas dos discentes. Adotou-se uma metodologia qualitativa, fundamentada nos referenciais da Alfabetização Científica e do EI, com a

coleta de dados realizada mediante registros em áudio e vídeo, posteriormente transcritos e interpretados por meio de rubricas analíticas. Os resultados indicaram que a dinâmica das dimensões do espaço epistêmico é fundamental para a agência dos estudantes, revelando uma maior incidência de práticas de legitimação, o que denota a construção de consensos no interior dos grupos. Compartilham o interesse pela redistribuição da autoridade epistêmica em favor da autonomia discente. Santos (2022) trabalha com o 8º ano do Ensino Fundamental e emprega rubricas analíticas voltadas ao conceito de “espaço epistêmico”, categoria não mobilizada neste trabalho.

A dissertação intitulada “As oportunidades para agência e práticas epistêmicas em sequências didáticas baseadas no ensino de ciências por investigação”, defendida por Carlos (2022) junto ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências da Universidade de São Paulo (USP), descreve um estudo focado na análise de como ocorre a distribuição da agência epistêmica em sequências didáticas investigativas e sua relação com as oportunidades de engajamento em práticas epistêmicas. A pesquisa consistiu em uma análise documental das sequências didáticas dos “Cadernos da Cidade”, material da disciplina de Ciências Naturais (6º ao 9º ano do Ensino Fundamental) da rede municipal de São Paulo. A metodologia adotada possui natureza qualitativa, utilizando a Análise Textual Discursiva (ATD) para examinar as atividades propostas no material, o que culminou no desenvolvimento de três rubricas analíticas inéditas voltadas ao mapeamento das oportunidades de agência, da mobilização dos domínios do conhecimento científico (conceitual, epistêmico e social) e das ocasiões explícitas para o surgimento de práticas epistêmicas. A diferença metodológica aqui é radical: Carlos (2022) realiza análise documental de material didático prescrito (“Cadernos da Cidade”), via Análise Textual Discursiva, sem qualquer interação em sala de aula registrada, enquanto este estudo analisa diretamente as interações discursivas de estudantes durante a resolução de problemas de difração.

A dissertação intitulada “O ensino de ciências por investigação na educação infantil: um olhar para o desenvolvimento de práticas epistêmicas por crianças pequenas”, defendida por Assis (2022) junto ao Programa de Pós-Graduação Interunidades em Ensino de Ciências da Universidade de São Paulo (USP), descreve um estudo focado na análise de como crianças pequenas engajam-se em práticas epistêmicas e como

estas se caracterizam durante atividades investigativas. A pesquisa foi conduzida com uma turma de crianças de cinco anos da Educação Infantil em uma escola da rede municipal de São Paulo. O objetivo central consistiu em elaborar e implementar uma SEI com o tema “Movimento das Minhocas”, visando aproximar os conhecimentos e fazeres científicos do cotidiano infantil. Adotou-se uma metodologia de natureza qualitativa, com a coleta de dados realizada mediante videogravações das interações discursivas e das produções dos discentes, as quais foram posteriormente transcritas, organizadas em unidades de análise e categorizadas a partir de rubricas específicas para o mapeamento das práticas epistêmicas. A distinção concentra-se no público e na fase de escolarização: Assis (2022) investiga crianças de cinco anos da Educação Infantil, em uma SEI sobre o movimento de minhocas, com categorização via rubricas específicas para essa faixa etária.

A dissertação intitulada “Práticas epistêmicas ao longo do 8º ano do ensino fundamental: uma análise do uso e avaliação de evidências em aulas de ciências”, defendida por Silva (2022) junto ao Programa de Pós-Graduação em Educação da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), descreve um estudo etnográfico que buscou analisar como os estudantes adotam práticas epistêmicas ao longo do tempo. A pesquisa acompanhou uma turma do 8º ano do Ensino Fundamental de uma escola pública federal, com o objetivo de compreender como os alunos propõem, comunicam, avaliam e legitimam conhecimentos em aulas de Ciências da Natureza. A metodologia adotada possui natureza qualitativa, fundamentada nos princípios da etnografia em educação e no referencial de Gregory Kelly, utilizando a observação participante, notas de campo e registros em áudio e vídeo para a construção dos dados. A análise foi estruturada a partir da metáfora da “Ampulheta Etnográfica”, debruçando-se minuciosamente sobre um “evento âncora” no qual os estudantes participaram de um debate sociocientífico acerca da regulamentação do cigarro eletrônico, com foco no uso e na avaliação de evidências durante a argumentação. A principal diferença é de abordagem metodológica: Silva (2022) adota a etnografia em educação, estruturada pela metáfora da “Ampulheta Etnográfica”, com observação participante ao longo do tempo em torno de um debate sociocientífico sobre cigarro eletrônico, um desenho longitudinal e etnográfico, distinto da análise pontual de episódios empregada neste trabalho.

A dissertação intitulada “As práticas epistêmicas e a formação de professores de biologia: uma análise da orientação específica de codificação”, defendida por Barbosa (2022) junto ao Programa de Pós-Graduação Interunidades em Ensino de Ciências da Universidade de São Paulo (USP), descreve uma investigação centrada na formação docente. A pesquisa analisou professores de Biologia participantes de um curso de formação continuada, com o objetivo de compreender como esses profissionais compreendem, mobilizam e reconhecem as práticas epistêmicas tanto no planejamento quanto em situações de ensino. Fundamentada na teoria sociológica de Basil Bernstein, a metodologia adotada possui natureza qualitativa, centrando-se na análise das falas e das propostas dos docentes cursistas ao se depararem com situações hipotéticas de sala de aula, a fim de examinar as regras de reconhecimento e de realização para a investigação científica. Aqui a diferença é de sujeito de pesquisa: Barbosa (2022) analisa professores de Biologia em formação continuada, com base na teoria sociológica de Basil Bernstein, e não estudantes em situação de aula, mudando completamente a unidade de análise em relação a este trabalho.

A dissertação intitulada “A Química além da Beleza: Uma Proposta para Abordagem das Funções Orgânicas Fundamentada nos Cosméticos a partir do Ensino por Investigação”, defendida por Cunha (2022) no Mestrado Profissional em Química em Rede Nacional (PROFQUI) da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB), descreve uma pesquisa de natureza interventiva e qualitativa voltada ao Ensino Médio. O estudo teve como objetivo principal elaborar e implementar uma Sequência de Ensino Investigativa (SEI) para abordar o conteúdo de funções orgânicas, utilizando a temática dos cosméticos como elemento problematizador e contextualizador. A metodologia envolveu turmas da 3ª série e foi estruturada mediante questionários preliminares e finais, debates, pesquisas baseadas em rótulos de produtos reais e oficinas práticas direcionadas à produção de xampu e perfume. O intuito central consistiu em avaliar como essa abordagem investigativa contribui para a Aprendizagem Significativa, para a promoção da Alfabetização Científica e para a apropriação de conceitos por parte dos estudantes. Os trabalhos convergem no protagonismo discente diante de problemas práticos. Cunha (2022) trabalha com funções orgânicas a partir de rótulos de cosméticos, incluindo oficinas de produção (xampu, perfume) como estratégia avaliativa, um desenho com forte componente de produção material, ausente neste estudo.

A dissertação intitulada “Uma proposta de formação docente na perspectiva da EDH: por um Ensino de Física mais humanizado”, defendida por Balestieri (2023) junto ao Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), descreve um estudo focado no desenvolvimento de um processo formativo para docentes de Física, ancorado na Educação em Direitos Humanos (EDH) e na perspectiva decolonial. A pesquisa inicial foi conduzida no Ensino Superior, com licenciandos matriculados na disciplina de Estágio Supervisionado em Ensino de Física de uma universidade pública. O objetivo central do trabalho consistiu em elaborar uma proposta de formação permanente a partir de elementos teóricos e práticos capazes de potencializar o enfrentamento dos desafios inerentes à busca por um ensino mais humanizado. A metodologia adotada foi a Pesquisa de Design Educacional (*Design-Based Research*), de natureza qualitativa e delineada em ciclos, com a coleta de dados realizada mediante observação, diários de bordo e aplicação de questionários após encontros reflexivos fundamentados em leituras e documentários. A diferença central é de foco: Balestieri (2023) usa a Pesquisa de Design Educacional para formar professores na perspectiva da Educação em Direitos Humanos, com licenciandos, e não estudantes da Educação Básica.

A dissertação intitulada “Ações de professoras de química para a manifestação de conhecimentos de natureza da ciência dos estudantes: uma análise em um contexto de ensino fundamentado em modelagem”, defendida por Silva (2023) junto ao Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências e Matemática da Universidade Federal de Viçosa (UFV), descreve um estudo focado na investigação da mediação docente para a promoção da Alfabetização Científica. A pesquisa teve como objetivo central analisar quais e como as ações de professoras de Química contribuem para a manifestação e o desenvolvimento de conhecimentos sobre a Natureza da Ciência (NdC) por parte dos discentes. A intervenção e a coleta de dados ocorreram em um ambiente de aprendizagem estruturado a partir da Modelagem Científica. Adotou-se uma metodologia de natureza qualitativa, centrada na observação e na análise minuciosa das interações discursivas em sala de aula para mapear as estratégias e intervenções utilizadas pelas docentes durante a condução das atividades propostas. Aproximam-se no interesse por interações discursivas como via de mediação. Silva (2023), porém, centra a análise na atuação docente

(professoras de Química) em ambiente de Modelagem Científica voltado à Natureza da Ciência, e não na agência dos próprios estudantes.

A dissertação intitulada “Iniciação científica na área de Ciências da Natureza no Ensino Médio e a formação do estudante pesquisador”, defendida por Lima (2023) junto ao Mestrado em Ensino de Ciências Exatas da Universidade do Vale do Taquari (UNIVATES), descreve uma pesquisa-ação focada na investigação das contribuições do desenvolvimento de projetos de pesquisa para a formação de estudantes da Educação Básica. O estudo foi conduzido com uma turma da 3ª série do Ensino Médio de uma escola pública estadual em Mato Grosso, na qual os discentes foram orientados a planejar e executar projetos de Iniciação Científica a partir de temáticas de seu próprio interesse. O objetivo central consistiu em analisar como essa vivência impacta o desenvolvimento de competências investigativas, tais como a argumentação, a leitura e a organização metodológica, e de que forma transforma as concepções dos jovens sobre a Natureza da Ciência e o trabalho científico. A metodologia adotada possui natureza qualitativa, com a geração de dados ocorrendo mediante grupos focais, diários de campo e registros em áudio, posteriormente examinados sob os preceitos da Análise de Conteúdo. A diferença está no escopo: Lima (2023) analisa projetos de Iniciação Científica de temas livres, com dados de grupos focais tratados por Análise de Conteúdo, e não uma SEI estruturada em um conteúdo disciplinar específico.

A tese intitulada “Educação Científica Humanizadora: uma proposta pedagógica para a Educação de Pessoas Jovens, Adultas e Idosas com base no Ensino de Ciências por Investigação e na perspectiva dialógico-problematizadora freireana”, defendida por Costa (2023) na Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), no programa de doutorado da Rede Nordeste de Ensino (RENOEN), descreve o desenvolvimento e a validação de uma proposta pedagógica voltada para a Educação de Jovens e Adultos (EJA). O objetivo central consistiu em articular o ensino de ciências por investigação com a pedagogia de Paulo Freire para promover uma educação científica que considere as especificidades e os saberes dos estudantes da EJA. A metodologia adotada foi a pesquisa-ação, de natureza qualitativa, envolvendo a elaboração, aplicação e análise de atividades investigativas planejadas a partir de temas geradores relevantes para a realidade dos alunos, com a coleta de dados

realizada por meio de observações, registros em diário de campo e produções dos participantes. Compartilham a busca por superar modelos tradicionais via investigação. Costa (2023) volta-se à EJA, articulando o EI à pedagogia freireana, com pesquisa-ação baseada em temas geradores, distinção de público e de referencial pedagógico central.

A dissertação intitulada “Agência epistêmica no 8º ano do ensino fundamental: uma análise de interações discursivas em aulas de Ciências da Natureza”, defendida por Carneiro (2023) junto ao Programa de Pós-Graduação em Educação da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), descreve um estudo focado na análise da emergência da agência epistêmica por parte dos discentes. O estudo acompanhou uma turma do 8º ano do Ensino Fundamental durante as aulas de Ciências da Natureza. O objetivo central consistiu em investigar, por meio da análise minuciosa das interações discursivas, como os alunos atuam ativamente na construção do conhecimento, assumindo o papel de agentes epistêmicos ao discutirem fenômenos e textos científicos, a exemplo do caso da dor do membro fantasma e da terapia do espelho. A metodologia possui natureza qualitativa, centrando-se no acompanhamento das aulas e na categorização das falas para mapear o engajamento e a negociação de sentidos coletivos no ambiente escolar. Aproximam-se na valorização da agência estudantil. Carneiro (2023) trabalha com o 8º ano do Ensino Fundamental, discutindo fenômenos como a dor do membro fantasma, com foco conceitual no próprio construto de “agência epistêmica” como categoria central de análise.

A dissertação intitulada “Relações com o saber de docentes em relação às atividades experimentais nas aulas de Ciências da Natureza do Ensino Médio”, defendida por Milagres (2023) junto ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática da Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), descreve um estudo focado na investigação das concepções e das relações com o saber de professores no que tange à experimentação. A pesquisa teve como público-alvo docentes que lecionam Ciências da Natureza no Ensino Médio. O objetivo central consistiu em compreender como esses profissionais concebem, planejam e executam as atividades experimentais em suas aulas, bem como o papel e a relevância que atribuem a essas práticas para a promoção da Alfabetização Científica. Adotou-se

uma metodologia de natureza qualitativa, utilizando instrumentos como questionários e entrevistas para explorar as percepções dos professores sobre suas rotinas de trabalho, escolhas metodológicas e atitudes frente a imprevistos durante os experimentos. A diferença é de sujeito e de instrumento: Milagres (2023) investiga concepções docentes sobre experimentação por meio de questionários e entrevistas, e não a agência dos estudantes durante a atividade investigativa em si.

A dissertação intitulada “Curiosidades e objetos epistêmicos: análise de interações em aulas de Ciências da Natureza nos anos iniciais”, defendida por Viana (2023) na Universidade de São Paulo (USP), descreve um estudo de caso qualitativo focado na compreensão de como as curiosidades são mobilizadas no trabalho com objetos epistêmicos. A pesquisa empírica analisou interações discursivas ocorridas em turmas do 1º ano do Ensino Fundamental durante o “Projeto Borboletário Escolar”, que propunha a investigação sobre a metamorfose de lagartas. Fundamentado no Ensino de Ciências por Investigação e nos pressupostos de Paulo Freire sobre a “educação da pergunta”, o objetivo central consistiu em mapear o percurso da curiosidade ingênua dos estudantes até a consolidação da curiosidade epistemológica e do rigor metódico. A metodologia centrou-se na gravação em áudio e vídeo de episódios de ensino, culminando na transcrição e categorização das falas por meio de uma ferramenta analítica que identificava elementos reveladores de curiosidade para examinar o engajamento e a investigação das crianças. Convergem no papel da problematização como motor da investigação. Viana (2023) acompanha o 1º ano do Ensino Fundamental no “Projeto Borboletário Escolar”, com uma ferramenta analítica voltada a mapear o percurso da curiosidade ingênua à epistemológica, categoria distinta das práticas epistêmicas e científicas mobilizadas neste estudo.

A tese intitulada “Ensino de Ciências por Investigação: Práticas pedagógicas inovadoras para o ensino de biologia no contexto pandêmico e suas contribuições para a práxis docente”, defendida por Reis (2023) junto ao Programa de Pós-Graduação em Ensino em Biociências e Saúde do Instituto Oswaldo Cruz (FIOCRUZ), descreve um estudo focado na investigação da abordagem investigativa aplicada por meio de distintas metodologias e materiais inovadores. A pesquisa foi conduzida no contexto do Ensino Remoto Emergencial com estudantes do Ensino Médio integrado aos cursos técnicos do Instituto Federal do Rio de Janeiro (IFRJ). O objetivo central

consistiu em analisar as contribuições do Ensino de Ciências por Investigação para a práxis docente em aulas de Biologia, avaliando o potencial das atividades para a Alfabetização Científica e para o engajamento discente. Adotou-se a Pesquisa de Design Educacional (*Design-Based Research*), estruturada em ciclos iterativos de análise, design, implementação e reflexão, utilizando como instrumentos de coleta de dados questionários, transcrições de videoconferências e a análise de artefatos elaborados pelos estudantes à luz do Padrão de Argumento de Toulmin (TAP). A diferença está no componente curricular e no ambiente: Reis (2023) centra-se no ensino de Biologia via Design-Based Research, com dados de videoconferências e questionários, analisados pelo Padrão de Argumento de Toulmin, em um cenário de Ensino Remoto Emergencial, contexto virtual ausente nesta investigação.

2.2 ARTIGOS RELACIONADAS À CIÊNCIAS DA NATUREZA UTILIZANDO A ABORDAGEM DO ENSINO POR INVESTIGAÇÃO PARA O DESENVOLVIMENTO DE PRÁTICAS CIENTÍFICAS E EPISTÊMICAS

Nesta seção, apresentamos artigos aceitos e publicados em periódicos acadêmicos de âmbito nacional e internacional, selecionados com base nos dados disponibilizados pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) por meio do seu Portal de Periódicos. Adicionalmente, realizamos buscas em outras plataformas de divulgação científica, tais como SciELO e Google Acadêmico. Com o intuito de aproximar as produções selecionadas da presente pesquisa, exploramos a interseção entre o Ensino por Investigação, a Óptica, e práticas científicas e epistêmicas.

Esses artigos abordam a relação entre o ensino de Óptica e metodologias ativas, a exemplo do Ensino por Investigação, com ênfase nas práticas científicas e epistêmicas. Identificamos quatorze artigos publicados nos últimos cinco anos, todos vinculados a programas de pós-graduação na área de Ensino de Física, conforme detalhado no Quadro 2.

Quadro 2 - Artigos que relacionam a difração com o Ensino por Investigação e/ou práticas científicas e epistêmicas.

AUTOR	TIPO	TÍTULO	ANO
Natale, Caio Cotta et al	Artigo	Evidence of Scientific Literacy through Hybrid and Online Biology Inquiry-Based Learning Activities	2021
Ramos, Tatiana Costa; Mendonça, Paula Cristina Cardoso	Artigo	A model proposal to address relationships between epistemic practices and socioscientific issues in science education.	2021
Sasseron, Lúcia Helena	Artigo	Práticas constituintes de investigação planejada por estudantes em aula de ciências: análise de uma situação	2021
dos Santos Santana, Uilian; Sedano, Luciana	Artigo	Práticas epistêmicas no ensino de ciências por investigação: contribuições necessárias para a alfabetização científica.	2021
Zompero, Andreia De Freitas Et Al.	Artigo	Epistemic Practices In The Natural Sciences Curricula of Latin American Countries: a Study Between Brazil, Chile, and Colombia	2022
Silva, Edyth Priscilla Campos; Silva, Fernando César	Artigo	Da simulação computacional ao uso das representações visuais: desenvolvendo práticas epistêmicas em aulas de Química	2022
Koretsky, Milo D. et al.	Artigo	Connected epistemic practices in laboratory-based engineering design projects for large-course instruction	2022
Ang, Kok-Sing	Artigo	Material inquiry and transformation as prerequisite processes of scientific argumentation: Toward a social-material theory of argumentation	2022
Neves, Jefferson Adriano; Pierson, Alice Helena Campos	Artigo	Interações Discursivas, Práticas Epistêmicas e o Ensino de Relatividade Restrita.	2022
Perl-Nussbaum, David; Schwarz, Baruch B.; Yerushalmi,	Artigo	Interdisciplinary dialogic argumentation among out-of-field and in-field physics teachers	2023
de Souza Bodevan, Jéssica Adriane; Coelho, Geide Rosa	Artigo	Ensino por investigação, centro de ciências, práticas científicas e epistêmicas: análise de uma intervenção pedagógica.	2023
Freire, Felipe Aragão; Silva, Adjane da Costa Tourinho.	Artigo	Uma análise das práticas e movimentos epistêmicos desenvolvidos em torno de um experimento físico sobre dilatação térmica em ambiente virtual: un análisis de las prácticas y movimientos epistémicos desarrollados en una clase virtual	2024
Silva, Edyth Priscilla Campos; Franco, Luiz Gustavo; Mendonça, Paula Cristina Cardoso.	Artigo	Ensino de Ciências por Investigação e Questões Sociocientíficas em Sala de Aula: Conexões a Partir da Análise de Práticas Epistêmicas	2024
Gonzatti, Sônia Elisa Marchi; De Lima, Noeli Jung Friedrich.	Artigo	Práticas epistêmicas no contexto da iniciação científica: ensaios sobre o desenvolvimento da argumentação	2024

de Souza, Caique O. *et al*	Artigo	Do Planejamento à Sala de Aula: Oportunidades para a Integração dos Domínios do Conhecimento Científico e participação em Práticas Epistêmicas no Ensino de Ciências por Investigação	2025

Fonte: Autor (2026).

O relato de caso intitulado “Hybrid and Online Biology Inquiry-based Learning Activities”, escrito por Natale *et al.* e publicado em 2021, descreve uma proposta metodológica que busca adaptar aulas práticas de laboratório para formatos híbridos e *online* mediante o EI. A proposta foi aplicada no Ensino Superior, utilizando experimentos caseiros, laboratórios virtuais e cenários interativos ramificados para simular a tomada de decisão científica e a coleta de dados experimentais em Biologia. O estudo utiliza a abordagem investigativa como eixo central para proporcionar uma maior interação do estudante com os fenômenos estudados, promovendo o engajamento ativo e o desenvolvimento de habilidades e práticas científicas. A proposta didática incluiu a análise do envolvimento e da aprendizagem dos discentes a partir da coleta de dados por meio de questionários de *feedback*, avaliações contínuas e métricas do ambiente virtual de aprendizagem. Por fim, as autoras relatam que a estratégia de associar a investigação a recursos digitais interativos foi bem-sucedida e amplamente valorizada pelos estudantes, demonstrando a flexibilidade e a eficácia da metodologia para o desenvolvimento de habilidades práticas fora do laboratório tradicional. Aproximam-se pela adoção do EI como eixo pedagógico central para promover a Alfabetização Científica. Natale et al. (2021), contudo, investigam a eficácia dessas metodologias em ambientes híbridos e online no Ensino Superior, no âmbito da Biologia, enquanto este estudo analisa interações presenciais no Ensino Médio, na disciplina de Física, durante a resolução de problemas de difração.

O artigo intitulado “A Model Proposal to Address Relationships Between Epistemic Practices and Socioscientific Issues in Science Education”, escrito por Ramos e Mendonça e publicado em 2021, descreve uma proposta de modelo teórico que relaciona as práticas epistêmicas e as questões sociocientíficas no Ensino de Ciências. A proposta visa estabelecer articulações entre normas, objetivos epistêmicos, cognição epistêmica, raciocínio informal e o posicionamento justificado dos estudantes. Assim como no presente trabalho, o estudo coloca as práticas epistêmicas no centro do processo de aprendizagem, procurando compreender os

mecanismos pelos quais os discentes constroem, avaliam e validam o conhecimento científico em sala de aula. A pesquisa caracteriza-se como um ensaio teórico que propõe três objetivos epistêmicos fundamentais para orientar a resolução de uma questão sociocientífica, os quais são o reconhecimento de múltiplas linhas de raciocínio, a construção de argumentos holísticos e o desenvolvimento de investigações céticas. Por fim, as autoras relatam que a cognição epistêmica atua como o elo fundamental entre o raciocínio e as práticas epistêmicas, concluindo que este modelo contribui para a avaliação crítica e para a conscientização de que os problemas científicos exigem reflexões justificadas em vez de respostas únicas. Convergem ao situar as práticas epistêmicas no centro do desenvolvimento de habilidades científicas, valorizando o engajamento discursivo e a argumentação fundamentada. O artigo de Ramos e Mendonça (2021), porém, constitui um ensaio teórico voltado à integração com questões sociocientíficas, sem aplicação empírica, distinto da pesquisa qualitativa de campo realizada neste estudo, em turmas do Ensino Médio.

O artigo intitulado “Práticas constituintes de investigação planejada por estudantes em aula de ciências: análise de uma situação”, escrito por Sasseron e publicado em 2021, descreve um estudo focado na análise de como os estudantes estruturam práticas para o planejamento de uma investigação de fenômenos do mundo natural. A proposta foi aplicada nos anos iniciais do Ensino Fundamental, em uma oficina eletiva na qual os discentes planejaram e conduziram uma investigação para acompanhar o desenvolvimento de uma planta. Assim como no presente trabalho, a pesquisa centra-se na análise das interações discursivas para identificar a manifestação e a mobilização de práticas epistêmicas, tais como propor, comunicar, avaliar e legitimar conhecimentos, durante a resolução de um problema investigativo. A metodologia descrita no artigo consistiu em um estudo de caso de natureza qualitativa, com a coleta de dados realizada a partir de gravações em áudio e vídeo dos encontros, cujas transcrições foram examinadas para categorizar os elementos da investigação e o envolvimento epistêmico dos participantes. Por fim, a autora relata que o trabalho com objetos epistêmicos resultou em ações conjuntas entre as dimensões conceitual, social, material e epistêmica do conhecimento, concluindo que a construção das investigações pelos próprios estudantes acarreta e exige o desenvolvimento inerente de práticas epistêmicas. Convergem ao adotar o EI e a análise qualitativa das

interações discursivas para mapear a mobilização de práticas epistêmicas. Sasseron (2021), contudo, investiga os anos iniciais do Ensino Fundamental, em uma oficina eletiva voltada ao acompanhamento do desenvolvimento de uma planta.

O artigo intitulado “Práticas epistêmicas no ensino de ciências por investigação: contribuições necessárias para a alfabetização científica”, escrito por Santana e Sedano e publicado em 2021, descreve um estudo que visa investigar as contribuições das práticas epistêmicas do Ensino de Ciências por Investigação para a Alfabetização Científica à luz da perspectiva bakhtiniana. A proposta foi aplicada nos anos iniciais do Ensino Fundamental, especificamente com uma turma do 3º ano, utilizando uma SEI focada no cuidado com o solo por meio de um experimento de plantio de sementes de feijão. Assim como no presente trabalho, a pesquisa foca na análise das interações discursivas e dos diálogos em sala de aula para identificar como as práticas epistêmicas são mobilizadas e articuladas durante a resolução de atividades investigativas. A metodologia descrita no artigo consistiu em uma pesquisa qualitativa com a coleta de dados por meio de videogravações das aulas, cujas transcrições foram organizadas em episódios de ensino e analisadas sob uma construção metodológica baseada no pensamento de Bakhtin. Por fim, os autores relatam que existem fortes relações entre as interações, as práticas epistêmicas e os indicadores de Alfabetização Científica, evidenciando que estes ocorrem geralmente de forma concomitante, e concluem que a orientação da professora é fundamental para que os estudantes assumam o protagonismo na construção do conhecimento. Compartilham a valorização da argumentação, da autonomia e do protagonismo estudantil na construção do conhecimento. Santana e Sedano (2021), no entanto, ancoram-se na perspectiva bakhtiniana, com uma turma do 3º ano do Ensino Fundamental, em uma SEI sobre o plantio de feijão.

O artigo intitulado “Práticas epistêmicas nos currículos de Ciências Naturais de países da América Latina: um estudo entre Brasil, Chile e Colômbia”, escrito por Zompero *et al.* e publicado em 2022, descreve uma investigação que busca identificar e caracterizar as práticas epistêmicas relacionadas à produção, comunicação e avaliação do conhecimento científico estabelecidas nas propostas curriculares oficiais do Brasil, Chile e Colômbia. O estudo consistiu em uma pesquisa qualitativa e documental focada na análise dos documentos curriculares vigentes da área de

Ciências da Natureza voltados ao Ensino Médio, a exemplo da Base Nacional Comum Curricular (BNCC) no Brasil. Assim como no presente trabalho, a pesquisa utiliza as práticas epistêmicas como principal eixo e ferramenta de análise para compreender como a educação científica aproxima os estudantes do “fazer científico” próprio, indo além da simples transmissão de conceitos. Por fim, os autores relatam que os documentos avaliados apresentam um maior número de práticas epistêmicas associadas à dimensão social de produção do conhecimento e que, no Brasil, as práticas predominantes propostas aos discentes são a problematização, a elaboração de conclusões e o uso da linguagem representacional. Aproximam-se pelo interesse comum nas diretrizes curriculares contemporâneas, como a BNCC, e na superação do ensino tradicional em prol da investigação. A diferença é metodológica: Zompero et al. (2022) realizam uma análise documental macroestrutural de currículos oficiais do Brasil, Chile e Colômbia, sem aplicação em sala de aula, distinto da intervenção pedagógica empírica conduzida neste estudo.

O artigo intitulado “Da simulação computacional ao uso das representações visuais: desenvolvendo práticas epistêmicas em aulas de Química”, escrito por Silva e Silva e publicado em 2022, descreve uma investigação que procura analisar se o uso de representações visuais, assumido como uma prática epistêmica, pode ser promovido por meio de uma simulação computacional. A proposta foi aplicada no Ensino Médio, em uma turma da 3ª série, durante uma sequência didática de Química focada nos conceitos de ácidos e bases com o apoio do simulador virtual PhET. Assim como no presente trabalho, o estudo busca compreender os processos de construção do conhecimento científico e o desenvolvimento de práticas epistêmicas em ambientes de EI. A metodologia descrita no artigo consistiu em uma pesquisa de natureza interventiva, com a coleta de dados realizada a partir dos registros escritos produzidos pelos discentes ao longo da sequência, os quais foram posteriormente examinados por meio da Análise Textual Discursiva (ATD). Por fim, os autores relatam que a simulação computacional, quando integrada a uma abordagem investigativa mediada pelo professor, permitiu o uso de representações visuais e fomentou o desenvolvimento de diversas outras práticas epistêmicas, tais como a elaboração de hipóteses e a construção de dados. Aproximam-se fortemente pelo uso do simulador PhET como recurso central do EI para promover o engajamento ativo dos estudantes. A diferença está no componente curricular e nos instrumentos de coleta: Silva e Silva

(2022) concentram-se na disciplina de Química, com foco em ácidos e bases, analisando prioritariamente registros escritos, enquanto este estudo volta-se à Física, com roteiros investigativos e registros de áudio das interações discursivas.

O artigo intitulado “Connected epistemic practices in laboratory-based engineering design projects for introductory engineering”, escrito por Koretsky *et al.* e publicado em 2022, descreve um estudo focado em compreender como os estudantes se engajam em práticas epistêmicas durante projetos de laboratório baseados em *design*. A proposta foi aplicada no Ensino Superior, acompanhando alunos do primeiro ano de Engenharia durante o desenvolvimento, a construção e o teste experimental de uma célula a combustível microbiana em pequena escala. A pesquisa concentra-se na análise das interações discursivas e das ações dos discentes durante atividades práticas para identificar o desenvolvimento de práticas epistêmicas, evidenciando como os estudantes propõem ideias, testam hipóteses e validam o conhecimento em grupo. A investigação adotou uma metodologia qualitativa de estudo de caso, com a coleta de dados realizada por meio de gravações em vídeo e áudio das interações da equipe, notas de campo e entrevistas. Aproximam-se pelo mapeamento de práticas epistêmicas durante a resolução de problemas práticos em grupo, valorizando a análise qualitativa das interações. Koretsky et al. (2022), contudo, investigam projetos de design em laboratórios de Engenharia no Ensino Superior, distinto do ambiente presencial da sala de aula regular do Ensino Médio investigado neste estudo.

O artigo intitulado “Material inquiry and transformation as prerequisite processes of scientific argumentation: Toward a social-material theory of argumentation”, escrito por Ang e publicado em 2022, descreve um estudo focado na compreensão de como objetos materiais se coordenam com a fala e as ações corporais para moldar a argumentação científica em turmas de Ciências do Ensino Médio. A pesquisa baseou-se em um estudo de caso coletivo, utilizando a Teoria Ator-Rede (*Actor-Network Theory*), a partir da análise de vídeos de duas salas de aula de nono ano que abrangiam tópicos de análise qualitativa em Química e as Leis de Newton em Física. Assim como no presente trabalho, a investigação tem como foco a análise das interações em sala de aula de Física para compreender a construção de evidências e o desenvolvimento de práticas científicas e epistêmicas durante atividades investigativas. A proposta metodológica descrita no artigo incluiu uma análise

microdiscursiva e multimodal minuciosa, a qual considerou as funções da fala, a estrutura do argumento e as interações diretas com os materiais. Convergem ao reconhecer a centralidade da argumentação e das práticas epistêmicas no contexto do EI. Ang (2022), porém, adota a Teoria Ator-Rede, priorizando a agência de objetos físicos e a transformação material como base do discurso, em oposição ao foco nas interações discursivas adotado neste estudo.

O artigo intitulado “Interações Discursivas, Práticas Epistêmicas e o Ensino de Relatividade Restrita”, escrito por Neves e Pierson e publicado em 2022, descreve um estudo focado na análise das interações discursivas que emergem em sala de aula durante o desenvolvimento de uma sequência de ensino sobre os conceitos de espaço e tempo da Relatividade Restrita. A proposta foi aplicada no Ensino Superior, com estudantes do primeiro período do curso de Licenciatura em Física, utilizando a estratégia didática de “Teorias Concorrentes” para criar situações-problema e fomentar a argumentação. Assim como no presente trabalho, a pesquisa concentra-se na análise das interações discursivas e no papel fundamental da mediação docente para mapear e promover o engajamento dos discentes em práticas epistêmicas. A metodologia descrita no artigo incluiu uma pesquisa de natureza qualitativa, com coleta de dados realizada por meio de gravações em áudio e vídeo de episódios de ensino, os quais foram transcritos e analisados sob a ótica das funções argumentativas e dos movimentos epistêmicos. Por fim, os autores relatam que os estudantes se envolveram em nove práticas epistêmicas distintas, concluindo que o contexto da atividade e os movimentos discursivos do professor são elementos determinantes para estabelecer um ambiente argumentativo profícuo. Aproximam-se pelo destaque à mediação docente e à estruturação de situações-problema para fomentar o engajamento na ciência. Neves e Pierson (2022), contudo, investigam o Ensino Superior, com licenciandos em Física, explorando conceitos de Relatividade Restrita por meio da estratégia de “Teorias Concorrentes”.

O artigo intitulado “Interdisciplinary dialogic argumentation among out-of-field and in-field physics teachers”, escrito por Perl-Nussbaum, Schwarz e Yerushalmi e publicado em 2023, descreve um estudo focado no uso da argumentação dialógica interdisciplinar para promover a aprendizagem mútua entre professores de Física com diferentes formações. A proposta foi aplicada em um contexto de desenvolvimento

profissional docente, utilizando atividades investigativas para observar a interação entre professores especialistas na área (*in-field*) e professores não especialistas com formação em Biologia (*out-of-field*). Assim como no presente trabalho, a investigação concentra-se na análise das interações discursivas durante atividades de EI para identificar a manifestação e o desenvolvimento de práticas epistêmicas. A metodologia descrita no artigo incluiu uma análise qualitativa do discurso a partir de gravações em vídeo e áudio das interações *online*, utilizando a Teoria Ator-Rede (*Actor-Network Theory*) e a análise das relações de poder para compreender a ligação entre a dimensão social e a dimensão epistêmica. Convergem na análise qualitativa das interações discursivas e da argumentação como via metodológica central. A diferença está no público: Perl-Nussbaum, Schwarz e Yerushalmi (2023) investigam a formação e a interação entre professores de Física especialistas e não especialistas, e não a agência de estudantes da Educação Básica.

O artigo intitulado “Ensino por investigação, centro de ciências, práticas científicas epistêmicas: análise de uma intervenção pedagógica”, escrito por Bodevan e Coelho e publicado em 2023, descreve uma intervenção pedagógica ancorada no Ensino por Investigação e realizada em um centro de ciências. A proposta foi aplicada na Educação Básica, especificamente com estudantes do primeiro ano do Ensino Médio, sob a orientação de uma professora de Física. Assim como no presente trabalho, o estudo concentra-se na análise das interações discursivas geradas durante a resolução de atividades investigativas para mapear a manifestação e o desenvolvimento de práticas científicas e epistêmicas pelos alunos. A metodologia descrita no artigo consistiu em uma pesquisa qualitativa do tipo intervenção, utilizando a coleta de dados por meio de transcrições de áudio e vídeo das atividades no centro de ciências. Por fim, os autores relatam que os resultados indicam o desenvolvimento de práticas como a avaliação e a legitimação de ideias, o levantamento e teste de hipóteses e o trabalho com novas informações, concluindo que o EI em espaços escolares e não escolares traz contribuições significativas para o processo de construção do conhecimento. Convergem ao adotar o EI como eixo estruturante e ao analisar interações discursivas para mapear práticas epistêmicas no ensino de Física. A diferença está no contexto: Bodevan e Coelho (2023) analisam uma intervenção realizada em um espaço não formal de educação (centro de ciências), enquanto este estudo ocorre estritamente no ambiente formal da sala de aula.

O artigo intitulado “Uma análise das práticas e movimentos epistêmicos desenvolvidos em torno de um experimento físico sobre dilatação térmica em ambiente virtual”, escrito por Freire e Silva e publicado em 2024, descreve uma investigação focada na caracterização das práticas epistêmicas desenvolvidas pelos alunos e dos movimentos epistêmicos realizados pelo professor. A proposta foi aplicada no Ensino Médio, especificamente em uma turma de 2º ano, durante uma SEI sobre dilatação térmica conduzida em uma sala de aula virtual de Física. Assim como no presente trabalho, o estudo busca compreender a dinâmica de construção do conhecimento por meio da análise das interações em aulas de Física por investigação, mapeando a forma como o docente orienta as ideias dos estudantes em direção aos conceitos cientificamente aceitos. A metodologia descrita no artigo incluiu uma pesquisa qualitativa com a coleta de dados por meio de gravações em vídeo, as quais foram posteriormente analisadas com recurso a categorias da literatura e à utilização de um *software* para o cálculo dos percentuais de tempo de cada ação. Aproximam-se pela análise qualitativa das interações discursivas no ensino de Física e pelo reconhecimento dos movimentos epistêmicos docentes. A diferença está no conteúdo físico e no ambiente: Freire e Silva (2024) tratam da Termologia em uma sala de aula virtual, com dados analisados por meio de software de cálculo de percentuais de tempo, enquanto este estudo aborda a Óptica em contexto presencial.

O artigo intitulado “Ensino de Ciências por Investigação e Questões Sociocientíficas em Sala de Aula: Conexões a Partir da Análise de Práticas Epistêmicas”, escrito por Silva, Franco e Mendonça e publicado em 2024, descreve um estudo focado na análise das continuidades e mudanças na construção de práticas epistêmicas em dois contextos instrucionais distintos: o Ensino de Ciências por Investigação e a abordagem de Questões Sociocientíficas. A pesquisa foi aplicada na Educação Básica, acompanhando estudantes de uma turma do 8º ano do Ensino Fundamental ao longo de um ano letivo em aulas de Ciências. Assim como no presente trabalho, o estudo tem como eixo central a análise das interações discursivas em sala de aula para compreender o desenvolvimento e a mobilização de práticas epistêmicas durante atividades de caráter investigativo. A trabalho adotou uma abordagem qualitativa baseada na etnografia em educação, com a seleção e a análise minuciosa de eventos a partir das interações discursivas geradas pelos discentes. Por fim, os autores

relatam que os resultados indicam relações complementares entre as duas abordagens, demonstrando que as atividades vivenciadas no contexto investigativo favoreceram o posicionamento consciente e justificado dos estudantes, preparando-os para argumentar e refletir sobre os problemas propostos de forma mais sólida. Convergem ao adotar o EI e a análise qualitativa das interações discursivas para mapear a mobilização de práticas epistêmicas. Silva, Franco e Mendonça (2024), contudo, empregam uma abordagem etnográfica longitudinal com uma turma do 8º ano do Ensino Fundamental ao longo de um ano letivo, integrando o EI a Questões Sociocientíficas, desenho distinto do recorte pontual adotado neste estudo.

O artigo intitulado “Práticas epistêmicas no contexto da iniciação científica: ensaios sobre o desenvolvimento da argumentação”, escrito por Gonzatti e Lima e publicado em 2023, descreve um estudo que analisa as contribuições da iniciação científica para o desenvolvimento de práticas epistêmicas, com foco especial na argumentação e na dimensão social da ciência. A proposta foi aplicada na Educação Básica, especificamente com estudantes da 3ª série do Ensino Médio de uma escola pública, por meio de encontros nos quais os discentes definiram problemas e desenvolveram projetos de pesquisa em grupos. Assim como no presente trabalho, a pesquisa reconhece a argumentação como uma prática epistêmica fundamental e utiliza a resolução de problemas como cenário para engajar os estudantes na proposição, na avaliação e na comunicação do conhecimento. A metodologia descrita no artigo adotou uma abordagem qualitativa, com a coleta e a análise descritiva de dados empíricos emergentes de grupos focais, diários de campo dos estudantes e da pesquisadora, além de gravações em áudio. Convergem ao reconhecer o engajamento investigativo como motor do desenvolvimento de práticas epistêmicas e da argumentação científica. A diferença está no desenho: Gonzatti e Lima (2023) analisam projetos de iniciação científica extracurriculares, com dados de grupos focais e diários de campo, distintos do recorte em aulas regulares deste estudo.

O artigo intitulado “Do Planejamento à Sala de Aula: Oportunidades para a Integração dos Domínios do Conhecimento Científico e Participação em Práticas Epistêmicas no Ensino de Ciências por Investigação”, escrito por Souza *et al.* e publicado em 2025, descreve uma investigação sobre a integração entre os domínios conceitual, epistêmico, material e social do conhecimento científico e a ocorrência de práticas

epistêmicas no EI. Assim como no presente trabalho, a pesquisa concentra-se na análise das interações discursivas para compreender como o ambiente investigativo propicia a mobilização dos estudantes em práticas epistêmicas. A metodologia descrita no artigo incluiu o desenvolvimento de uma ferramenta analítica baseada na literatura, utilizada para identificar os elementos dos domínios do conhecimento científico tanto nos materiais de planejamento quanto nas interações verbais ocorridas durante as aulas. Aproximam-se ao reconhecer que o planejamento rigoroso e a mediação docente são indispensáveis para a mobilização de práticas epistêmicas. Souza et al. (2025), porém, desenvolvem uma ferramenta analítica voltada à integração dos domínios conceitual, epistêmico, material e social tanto no planejamento quanto na execução das aulas, enfoque distinto do adotado neste estudo.

3 ENSINO POR INVESTIGAÇÃO, PRÁTICAS CIENTÍFICAS E EPISTÊMICAS

3.1 INTRODUÇÃO AO REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo, apresentamos os pressupostos teóricos que fundamentam a presente pesquisa, delineando os conceitos centrais que orientam tanto a intervenção pedagógica quanto a posterior análise dos dados coletados. Estruturamos a discussão em torno de dois eixos principais e complementares: o Ensino por Investigação (EI) e as Práticas Científicas e Epistêmicas. Inicialmente, abordamos o EI como uma abordagem didática que reposiciona o estudante no centro do processo de aprendizagem, distanciando-se de modelos puramente transmissivos ao valorizar a bagagem de vida e a curiosidade intelectual dos estudantes. Ademais, aprofundamos a discussão sobre as práticas científicas e epistêmicas, compreendendo-as como os mecanismos sociais, discursivos e cognitivos por meio dos quais o conhecimento é proposto, avaliado e legitimado no ambiente escolar.

Ao articularmos estas perspectivas teóricas, demonstramos de que forma a resolução de problemas e a argumentação sustentada em evidências contribuem não apenas para a apreensão de conceitos da Física, mas também para o processo mais amplo de letramento científico. Com efeito, a literatura recente aponta para a necessidade de ressignificação do ensino de ciências, visando uma nova visão de mundo na qual o estudante está inserido. Sob essa perspectiva, inferimos que ensinar Física exige um planejamento que transcenda a mera transmissão de conteúdos conceituais e a exposição de ideias já consolidadas do pensamento científico. Outrossim, julgamos necessário inserir os estudantes no universo da ciência, proporcionando momentos em que, ao observarem os fenômenos da natureza, possam construir suas hipóteses, organizar suas ideias e buscar a compreensão do mundo por meio de uma perspectiva científica (Carvalho, 2013; Coelho; Bodevan, 2023).

Nesse contexto, o EI consolida-se como uma abordagem pedagógica fundamental, uma vez que essa concepção de educação científica se aproxima do próprio fazer científico (Sasseron, 2015). Assim, compreendemos que aprender ciência não se resume a assimilar conceitos preestabelecidos, mas a vivenciar ativamente o processo de sua construção. Para que esse movimento ocorra, consideramos

essencial promover o desenvolvimento de práticas típicas da cultura científica no ambiente escolar (Carvalho, 2018), as quais se desdobram em duas esferas complementares. Por um lado, o desenvolvimento de práticas científicas engaja o estudante nos aspectos metodológicos e práticos inerentes à investigação, como o trabalho com novas informações e o teste de hipóteses (Sasseron; Silva, 2021). Por outro lado, fomentamos as práticas epistêmicas, que dizem respeito às formas socialmente compartilhadas por meio das quais os integrantes de um grupo propõem, comunicam, avaliam e legitimam o conhecimento em construção (Kelly; Licona, 2018).

As seções a seguir aprofundam a literatura sobre o EI e descrevem detalhadamente os indicadores das práticas científicas e epistêmicas. Esse referencial teórico servirá como alicerce para a posterior análise das interações discursivas ocorridas nas aulas de Física durante a aplicação de uma Sequência de Ensino Investigativa (SEI).

Portanto, a mediação docente, ao estruturar o ambiente investigativo, atua como o catalisador que transforma a curiosidade inicial dos estudantes em reações intelectuais complexas e estruturadas. Essa articulação teórica prepara o terreno para a descrição das etapas metodológicas que compuseram nossa intervenção didática sobre a difração da luz.

3.2 O ENSINO POR INVESTIGAÇÃO

O ensino por investigação constitui uma abordagem pedagógica na qual o professor atua como mediador, criando condições intencionais para que os estudantes desenvolvam habilidades essenciais à construção do conhecimento científico. Para Carvalho (2018), essa metodologia incentiva os estudantes a pensarem sob a ótica e a lógica da ciência, instigando-os a expressarem oralmente argumentos claros que evidenciem a evolução de sua aprendizagem. Além disso, a autora destaca que tal abordagem promove a leitura crítica de conteúdos e a escrita autoral, garantindo a clareza e a apropriação das ideias apresentadas. Assim, compreendemos que essa perspectiva valoriza a bagagem de vida dos estudantes do Ensino Médio, transformando seus conhecimentos prévios em pontos de partida para a prática investigativa.

Nesse contexto, observamos que o ensino por investigação transcende a aplicação de técnicas isoladas, consolidando-se como uma postura epistemológica do professor. Segundo Sasseron (2015, p. 58):

> [...] que o ensino por investigação extravasa o âmbito de uma metodologia de ensino apropriada apenas a certos conteúdos e temas, podendo ser colocada em prática nas mais distintas aulas, sob as mais diversas formas e para os diferentes conteúdos. Denota a intenção do professor em possibilitar o papel ativo de seu aluno na construção de entendimento sobre os conhecimentos científicos. Por esse motivo, caracteriza-se por ser uma forma de trabalho que o professor utiliza na intenção de fazer com que a turma se engaje com as discussões e, ao mesmo tempo em que travam contato com fenômenos naturais, pela busca de resolução de um problema, exercitam práticas e raciocínios de comparação, análise e avaliação bastante utilizadas na prática científica (Sasseron, 2015, p. 58).

Portanto, o ensino por investigação não se restringe a uma via de transmissão de conteúdos, mas configura-se como um mecanismo que permite ao estudante aprender enquanto desenvolve competências de raciocínio e pensamento crítico. No entanto, identificamos que essa prática exige um planejamento minucioso que considere as interações discursivas como elemento central. Nesse sentido, notamos que a busca pela resolução de problemas reais, como os desafios propostos sobre difração, auxilia no desenvolvimento não apenas conceitual, mas também cognitivo e social dos sujeitos.

Compreendemos, fundamentados em Carvalho (2013), que ao apresentarmos um problema investigativo para resolução em sala de aula, proporcionamos condições estruturantes para que o estudante exercite o raciocínio e a construção do próprio conhecimento. Desta forma, o professor assume o papel de orientador e mediador, encaminhando as reflexões necessárias à construção de novos saberes e transferindo ao estudante a responsabilidade intelectual pelo processo cognitivo. Além disso, Carvalho (2011) destaca que a efetiva construção do conhecimento, mediada pela socialização de saberes entre docente e estudantes, exige um planejamento rigoroso e intencional. É nesse cenário que a autora propõe a estruturação de atividades sob a ótica do ensino por investigação, definindo o que compreende como Sequência de Ensino Investigativa (SEI):

> [...] sequências de atividades(aulas) abrangendo um tópico do programa escolar em que cada atividade é planejada, do ponto de vista do material e das interações didáticas, visando proporcionar aos alunos: condições de trazer seus conhecimentos prévios para iniciar os novos, terem ideias próprias e poder discuti-las com seus colegas e o professor passando do conhecimento espontâneo ao científico e adquirindo condições de entenderem conhecimentos já estruturados por gerações anteriores (Carvalho, 2013, p. 9).

Desta forma, verificamos que para a elaboração de uma SEI torna-se imperativa a organização de atividades-chave que sustentem o ciclo investigativo. Segundo Carvalho (2013), a sequência deve ser iniciada, prioritariamente, por uma situação-problema contextualizada (seja ela de natureza experimental ou teórica) capaz de introduzir o tópico em estudo e oferecer condições para que os estudantes manipulem as variáveis relevantes. Assim, identificamos que esta etapa inicial deve ser sucedida por um momento de sistematização, preferencialmente por meio da leitura mediada, o que permite aos estudantes discutirem e compararem suas estratégias de resolução com o conhecimento cientificamente sistematizado. No entanto, a estrutura só se completa ao promovermos a contextualização do conhecimento no cotidiano dos estudantes, ressaltando a relevância social e tecnológica dos conceitos físicos.

Carvalho (2013) classifica os problemas que fundamentam a investigação em três categorias distintas: problemas experimentais, demonstrações investigativas e problemas não experimentais. Desta forma, a efetivação da abordagem ocorre mediante a escolha de problemas que dialoguem com a realidade de cada ambiente de ensino e os recursos disponíveis. Essa seleção é uma decisão estratégica do professor para transpor a curiosidade espontânea para o rigor do pensamento científico.

No que tange aos problemas experimentais, o material didático deve ser organizado, garantindo que os estudantes manejem os aparatos com autonomia e segurança. O desafio deve despertar o interesse dos estudantes sem, contudo, exauri-los com obstáculos puramente técnicos. Nesse sentido, consideramos crucial a elaboração de materiais que mantenham um equilíbrio pedagógico: o problema não deve ser excessivamente simples, o que desmotivaria o estudante por falta de desafio, nem demasiadamente complexo, o que poderia levá-lo à desistência. Assim, valorizamos

a bagagem de vida e a intuição física dos estudantes como ferramentas para a superação desses obstáculos intelectuais.

Nessa perspectiva, Carvalho (2013) estrutura a organização do problema experimental em quatro etapas interdependentes:

- Proposição do problema e distribuição do material: momento em que o professor apresenta o desafio e os instrumentos de investigação;
- Resolução do problema pelos estudantes: fase de manipulação, discussão nos grupos e teste de hipóteses;
- Sistematização dos conhecimentos: etapa de compartilhamento das soluções encontradas entre os grupos e o professor;
- Registro autoral (escrever e desenhar): momento de formalização individual ou coletiva das conclusões atingidas.

Assim, a mediação do professor garante que as reações intelectuais evoluam da ação material para a abstração conceitual. Essa organização sustenta o engajamento em Práticas Epistêmicas (PE), uma vez que cada fase exige diferentes movimentos discursivos e cognitivos.

Em consonância com Zômpero e Laburú (2011), o ensino por investigação envolve o estudante na resolução de problemas autênticos, promovendo a formulação de hipóteses, a análise de evidências e a construção de explicações fundamentadas. Embora existam diferentes nomenclaturas (como *inquiry*, ensino por projetos ou resolução de problemas), todas compartilham elementos estruturantes como a problematização, a argumentação e a comunicação de resultados. Tais elementos são fundamentais para que o estudante torne-se sujeito ativo na produção de sentidos.

Essa multiplicidade de abordagens reforça a necessidade de um planejamento que priorize a investigação em detrimento da mera memorização. Ao valorizar a bagagem de vida dos estudantes, as negociações sobre significados complexos, como o comprimento de onda de um laser, tornam-se oportunidades para o exercício da crítica e da validação de modelos explicativos.

A necessidade de enculturação científica é corroborada por Coelho e Bodevan (2023), que destacam a urgência de inserir os estudantes ativamente no universo da ciência. No contexto da Física, isso significa romper com a tradição de aulas focadas na memorização mecânica de equações. De acordo com os autores, ao adotar a prática investigativa, o professor fornece ferramentas para a compreensão do mundo sob as lentes da ciência, transformando a sala de aula em um ambiente onde o questionamento e a construção de modelos ganham protagonismo.

Munford e Lima (2007) ressaltam que o ensino por investigação não se resume à execução de experimentos, mas à problematização de situações que levem à construção ativa de explicações. As autoras enfatizam a formulação de hipóteses e a análise de evidências, aproximando o estudante da natureza processual da ciência. Driver, Newton e Osborne (2000) acrescentam que a argumentação científica é central, pois permite confrontar ideias e construir consensos baseados em evidências, consolidando a ciência como um empreendimento coletivo e dialógico.

Carvalho (2022) pontua que o ensino por investigação pressupõe práticas discursivas planejadas, nas quais o professor conduz o diálogo para favorecer o raciocínio, auxiliando na transição entre o conhecimento cotidiano e o científico. O docente atua como um mediador epistemológico, guiando o estudante sem oferecer respostas diretas. Assim, o protagonismo discente é central: cabe ao aluno construir significados e testar explicações, enquanto o professor facilita a autonomia intelectual e o engajamento (Munford e Lima, 2007; Carvalho, 2018; Zômpero e Laburú, 2011).

Do ponto de vista cognitivo, o ensino por investigação proporciona um ambiente de aprendizagem ativo, diferindo das práticas tradicionais em que o aluno apenas segue roteiros predefinidos. A investigação escolar envolve incertezas e debates, permitindo que os alunos reflitam sobre o próprio raciocínio. Para que essa construção ocorra, a linguagem assume papel central. A apropriação dos saberes científicos ocorre, essencialmente, pela negociação de significados mediada pelo discurso. Mortimer e Scott (2002) destacam que a sala de aula é um espaço de encontro de diferentes visões de mundo, dependendo da qualidade das interações promovidas.

Quanto à negociação de significados, Mortimer e Scott (2002) propõem o conceito de “abordagem comunicativa”, classificando o discurso em duas dimensões: interativo/não interativo e dialógico/de autoridade. Enquanto no ensino tradicional predomina o discurso de autoridade, no ensino por investigação exige-se a mediação de momentos interativos e dialógicos, encorajando a exploração de concepções prévias sem julgamento avaliativo imediato.

É nessas interações que os estudantes externalizam o pensamento e engajam-se em práticas epistêmicas (Silva; Gerolin; Trivelato, 2018). O professor utiliza perguntas abertas para estimular a avaliação de ideias pelos pares. Contudo, o ensino de Física possui intencionalidade: após a exploração dialógica, o docente transita estrategicamente para um discurso de autoridade (ainda que interativo) na sistematização, garantindo o alinhamento aos modelos científicos validados.

Zômpero e Laburú (2011) reiteram que as atividades investigativas não seguem modelos algorítmicos, mas estruturam-se na problematização e na interpretação de evidências. O experimento torna-se um meio de raciocínio, promovendo o desenvolvimento de habilidades cognitivas complexas. Articulando essas ideias, Carvalho (2018) define que uma SEI deve contemplar: a situação-problema, o levantamento de hipóteses, a investigação e registro, a sistematização (confronto entre hipóteses e resultados) e a aplicação do conhecimento em novos contextos.

Estudos na área de Física demonstram o potencial dessa abordagem. Sasseron e Carvalho (2011) consolidam a relação entre alfabetização científica e investigação, enquanto Sasseron (2015) discute como o diálogo e a justificativa de ideias fortalecem o pensamento crítico. Silva, Gerolin e Trivelato (2018) evidenciam que a autonomia intelectual é ampliada quando o professor estimula a participação em práticas epistêmicas. No campo da óptica, Ribeiro e Verdeaux (2012) demonstram que atividades experimentais investigativas sobre reflexão, refração e difração potencializam o engajamento e a compreensão conceitual.

Por fim, a adoção do ensino por investigação alinha-se às diretrizes educacionais brasileiras. A Base Nacional Comum Curricular (BNCC) estabelece a Investigação Científica como eixo estruturante dos Itinerários Formativos, exigindo que o estudante

vivencie a formulação de hipóteses e a elaboração de modelos (Brasil, 2018). Assim, a estruturação de atividades como a SEI (Carvalho, 2018) deixa de ser uma escolha metodológica isolada para tornar-se um caminho necessário à efetivação de um currículo que prioriza o raciocínio científico e a autonomia intelectual.

3.3 AS PRÁTICAS EPISTÊMICAS E O ENSINO DE CIÊNCIAS

Desde o início dos anos 2000, o termo práticas epistêmicas tem sido empregado para designar atividades que rompem com o paradigma do ensino tradicional, no qual os estudantes assumem uma postura meramente receptiva e transcrição de informações. Desta forma, as práticas epistêmicas indicam processos educativos nos quais o estudante, ao longo da investigação, desenvolve habilidades científicas e torna-se capaz de elaborar novas ideias fundamentadas em sua própria estrutura cognitiva (Sasseron; Silva, 2021). Além disso, entendemos que essas práticas constituem um eixo essencial do ensino contemporâneo de Física, pois deslocam o foco do acúmulo mecânico de fórmulas para uma construção ativa, crítica e socialmente situada do saber.

No campo da educação científica, inferimos que compreender a Física implica reconhecer como o conhecimento é produzido e validado por meio da observação, da experimentação e da argumentação, superando a simples memorização de leis. Além disso, o aprendizado deve oportunizar que os estudantes formulem hipóteses, testem evidências e reconstruam significados, aproximando-se da dinâmica de operação da ciência em contextos reais (Sandoval, 2014). Nesse sentido, valorizamos a bagagem de vida dos sujeitos como elemento propulsor para que as discussões em sala de aula alcancem níveis de abstração condizentes com o fazer científico.

De acordo com Sasseron e Silva (2021), a terminologia “prática” refere-se à execução de atividades voltadas ao desenvolvimento do conhecimento, inerentes a uma cultura ou sociedade específica. Por sua vez, o termo “epistêmica” remete à natureza e à experiência do saber. Assim, identificamos que as práticas epistêmicas se configuram como atividades manipulativas, discursivas e cognitivas mobilizadas para construir, avaliar ou legitimar o conhecimento científico no ambiente escolar. No entanto,

ressaltamos que o desenvolvimento dessas práticas depende intrinsecamente da qualidade das interações estabelecidas entre os pares e o professor.

Desta forma, fundamentamo-nos na perspectiva de Kelly e Licona (2018), os quais definem as práticas epistêmicas como as formas socialmente organizadas e realizadas por meio de interações, pelas quais os membros de um grupo propõem, comunicam, avaliam e legitimam reivindicações de conhecimento. Desta forma, depreendemos que tais práticas não ocorrem de maneira isolada, mas emergem das interações discursivas e sociais estabelecidas entre os estudantes durante o processo investigativo. Ademais, notamos que a construção do saber científico no ambiente escolar depende diretamente da capacidade dos sujeitos em organizar e validar coletivamente as suas descobertas fenomenológicas.

Além disso, verificamos que as práticas epistêmicas se manifestam quando os estudantes, ao lidarem com a difração da luz, propõem explicações e utilizam ferramentas de forma contextualizada para resolver os problemas apresentados. Assim, ao refletirem sobre os desafios e buscarem soluções baseadas nas evidências e nos instrumentos disponíveis, os discentes exercitam o papel de sujeitos ativos na produção de sentidos físicos. No entanto, ressaltamos que o desenvolvimento dessas práticas exige que a mediação do professor valorize a bagagem de vida e a autonomia dos estudantes, permitindo que as interações em sala de aula se aproximem do fazer científico real.

De acordo com Jiménez-Aleixandre e Erduran (2007), quando os estudantes argumentam sobre fenômenos físicos, como o comportamento das ondas, as trajetórias dos corpos ou as relações entre força e movimento, tornam-se autores de afirmações justificadas, em vez de simples reprodutores de definições. A argumentação, nesse sentido, configura-se como uma prática cognitiva e social, mediada pelo discurso e pela análise de evidências. O professor, ao assumir o papel de mediador epistêmico, cria oportunidades para que os estudantes expressem, comparem e reformulem suas ideias, sem eliminar a autonomia investigativa do grupo.

Essa perspectiva está alinhada ao que Duschl e Osborne (2002) defendem ao afirmar que o ensino de ciências deve priorizar a justificação e avaliação de evidências, em

vez da simples aplicação de algoritmos e fórmulas. Nesse contexto, as atividades experimentais deixam de ser meras demonstrações confirmatórias e passam a ser espaços de argumentação, confronto de hipóteses e validação coletiva, aproximando o ambiente escolar da prática científica autêntica. Essa abordagem não apenas desenvolve a compreensão conceitual, mas também fortalece a capacidade dos estudantes de pensar e agir como cientistas.

Fundamentados na perspectiva de Kelly e Licona (2018), compreendemos que as práticas epistêmicas articulam-se em quatro dimensões interdependentes, a saber, propor, comunicar, avaliar e legitimar, que estruturam a forma como o conhecimento científico é construído, compartilhado e validado nos ambientes de ensino. Desta forma, verificamos que essa concepção amplia significativamente o entendimento sobre a natureza da prática científica, ao destacar que o processo de aprendizagem do estudante envolve não apenas a produção de respostas corretas, mas a participação ativa em processos discursivos e colaborativos que mimetizam o funcionamento da própria ciência. Além disso, notamos que essa estrutura valoriza a autonomia do estudante, uma vez que o incentiva a transitar da observação passiva para a defesa argumentativa de seus próprios modelos explicativos sobre a difração da luz.

Adicionalmente, inferimos que tais dimensões funcionam como um mapa para a mediação docente, permitindo que o professor identifique os momentos em que as reações intelectuais dos alunos se transformam em contribuições epistêmicas para o grupo. Assim, o ato de propor hipóteses ou avaliar evidências deixa de ser uma tarefa isolada para tornar-se um componente da cultura científica estabelecida em sala de aula. No entanto, ressaltamos que a efetivação dessas práticas requer um ambiente seguro e dialógico, no qual a bagagem de vida do estudante seja o alicerce para a construção de novos sentidos físicos.

Nesse sentido, apresentamos a seguir o Quadro 3, adaptada de Kelly e Licona (2018), que fornece uma descrição detalhada de cada uma dessas dimensões e as ações esperadas dos estudantes em cada etapa.

Quadro 3 - Práticas epistêmicas segundo Kelly e Licona (2018) com cada uma das dimensões e as ações esperadas dos estudantes em cada etapa

PRÁTICAS EPISTÊMICAS	O NÍVEL DE INVESTIGAÇÃO CIENTÍFICA
Propor	● Levantar questões científicas. ● Realizar investigações científicas para responder a perguntas ● Fazer observações e perceber o que é relevante com base em argumentos para uma investigação ● Construir e aperfeiçoar modelos.
Comunicar	● Desenvolver raciocínio científico. ● Justificar suas ideias baseado no conhecimento ● Escrever uma explicação científica. ● Comunicar uma explicação científica verbalmente. ● Construir uma explicação científica com base em provas e raciocínios.
Avaliar	● Avaliar os méritos de uma afirmação científica, evidência ou modelo ● Avaliar uma linha de raciocínio científico ● Avaliar explicação científica ● Considerar explicações alternativas
Legitimar	● Construir em consenso com o grupo explicações cientificamente sólidas. ● Valorizar a explicação que mais se aproxima da cientificamente aceita. ● Reconhecer o conhecimento epistêmico relevante a comunidade

Fonte: Kelly e Licona (2018).

Embora as categorias propostas por Kelly e Licona (2018), apresentadas no Quadro 3, ofereçam uma base sólida para a compreensão das dimensões sociais da construção do conhecimento, a transição dessa perspectiva teórica para a análise de dados empíricos em sala de aula exige marcadores de maior especificidade. Desta forma, para atender a essa necessidade metodológica e aprofundar a observação das interações discursivas no contexto do ensino de Física, recorremos à estruturação desenvolvida por Sasseron (2018). Somado a isso, verificamos que a transição entre o referencial internacional e a realidade da educação básica brasileira demanda uma lente que capture as nuances das interações discursivas típicas de nosso cenário escolar.

O Quadro 4, fundamentado no trabalho de Sasseron (2018), sintetiza e detalha as ações características da cultura científica, desdobrando-as em Práticas Epistêmicas (PE) e Práticas Científicas (PC). Além disso, identificamos que tais categorias servirão

como os indicadores analíticos centrais para a identificação dos movimentos discursivos e investigativos dos estudantes nesta pesquisa sobre a difração da luz. Nesse sentido, ao valorizarmos a autonomia dos estudantes, buscamos mapear como a mediação do professor mobiliza o desenvolvimento de práticas durante o percurso investigativo. No entanto, ressaltamos que esses indicadores não são estáticos, mas manifestam-se de forma dinâmica conforme o grau de interação do grupo com as atividades propostas na SEI.

Quadro 4 - Práticas epistêmicas e científicas segundo Sasseron (2018)

CARACTERÍSTICAS DE PRÁTICAS TÍPICAS DA CULTURA CIENTÍFICA: AS PRÁTICAS EPISTÊMICAS E CIENTÍFICAS	
Práticas epistêmicas (PE):	Práticas Científicas (PC):
● Proposição de ideias (PE1); ● Comunicação de ideias (PE2); ● Avaliação de ideias (PE3). ● Legitimação de ideias (PE4)	● Trabalho com novas informações (PC1); ● Levantamento e teste de hipóteses (PC2); ● Construção de explicações e elaborações de justificativas, limites e previsões das explicações (PC3).

Fonte: Sasseron (2018).

Portanto, a mediação do professor, ao utilizar esses indicadores como balizadores da prática, permite que as reações intelectuais dos estudantes sejam registradas e interpretadas sob um rigoroso crivo epistemológico. Entendemos que essa sistematização é o que confere validade à nossa análise de resultados, transformando as falas dos estudantes em evidências do desenvolvimento do pensamento científico.

A partir da organização proposta por Sasseron (2018), compreendemos que as práticas que compõem a cultura científica no ambiente escolar podem ser desenvolvidas e categorizadas conforme as descrições a seguir. Desta forma, detalhamos cada uma dessas ações sob a ótica da mediação do professor e das reações intelectuais esperadas dos estudantes:

Proposição de ideias (PE1): Identificamos esta prática como o momento inicial da construção do conhecimento na atividade investigativa. Ela ocorre quando o estudante, diante de um fenômeno desafiador como a difração, mobiliza seus conhecimentos prévios e intuições para formular uma explicação preliminar. Verificamos, também, que esta etapa é caracterizada por uma tomada de risco

intelectual, na qual o sujeito lança uma ideia não acabada para o grupo, iniciando o processo de significação do fenômeno estudado.

Comunicação de ideias (PE2): Consiste na exteriorização e socialização do pensamento. Para que uma proposição (PE1) se torne objeto de debate, o estudante precisa traduzir seus processos cognitivos internos em representações públicas acessíveis aos seus pares e ao seu professor. Além disso, notamos que essa exteriorização pode ocorrer por meio da linguagem oral, da escrita, de desenhos ou de gestos, tornando o pensamento visível e passível de interpretação coletiva.

Avaliação de ideias (PE3): Trata-se da análise crítica das proposições apresentadas. Nesta prática, o grupo analisa a validade, a coerência lógica e a sustentação empírica das ideias propostas. Assim, verificamos que esta fase envolve ações como concordar, refutar ou questionar premissas, configurando-se como um momento de conflito cognitivo essencial para aproximar as concepções dos estudantes do modelo científico aceito.

Legitimação de ideias (PE4): Representa a etapa de estabilização e consolidação do saber. Após o percurso de avaliação rigorosa, a explicação passa a ser reconhecida como um saber válido e consensual pelo grupo. Nesse sentido, observamos que o estudante deixa de tratar a explicação como uma mera hipótese e passa a adotá-la como uma afirmação fundamentada, frequentemente contando com a mediação do professor para institucionalizar o conhecimento formal.

Trabalho com novas informações (PC1): Configura-se como a imersão do estudante no campo empírico. Esta prática engloba as ações de coleta e organização de dados necessários para a investigação, como a montagem de arranjos experimentais ou a realização de medições. Desta maneira, o estudante interage diretamente com o fenômeno, adquirindo a matéria-prima (evidências) que sustentará seus argumentos futuros.

Levantamento e teste de hipóteses (PC2): Representa a ação intencional e metodológica sobre o objeto de estudo. Não se trata apenas de formular abstrações, mas de delinear caminhos práticos para verificá-las. Portanto, verificamos que o

estudante planeja e executa ações visando responder a questionamentos sobre as variáveis do sistema, estabelecendo a ponte necessária entre o pensamento teórico e a realidade física.

Construção de explicações e elaboração de justificativas, limites e previsões (PC3): Identificamos esta prática como o nível mais elevado de abstração na investigação. Nela, o estudante sintetiza o percurso anterior para formular um argumento científico robusto, reconhecendo as condições de contorno (limites) da explicação e utilizando o modelo construído para realizar previsões sobre cenários inéditos.

Cabe ressaltar a distinção entre uma atividade escolar comum e uma atividade que promove práticas epistêmicas. Uma prática apenas é considerada epistêmica quando transcende a mera execução mecânica de procedimentos ou a reprodução de falas do professor. Se os estudantes realizam um experimento apenas seguindo um roteiro fechado para confirmar um valor já conhecido, sem espaço para a avaliação de ideias (PE3) ou o levantamento de hipóteses próprias (PC2), eles estão engajados em uma prática escolar típica, mas não epistêmica.

A prática torna-se genuinamente epistêmica quando os estudantes assumem a agência do conhecimento. Isso ocorre no momento em que são provocados por conflitos cognitivos e necessitam propor, testar, justificar e legitimar (PE4) suas concepções frente aos pares. O caráter epistêmico reside na intencionalidade de validar o conhecimento e entender como a ciência funciona, transformando a sala de aula em uma pequena comunidade de investigação.

Portanto, a mediação do professor, ao proporcionar um ambiente que favoreça o desenvolvimento dessas práticas, permite que as reações intelectuais dos estudantes se consolidem em uma efetiva enculturação científica. Verificamos que o domínio dessas competências é o que possibilita aos estudantes a construção de sentidos físicos profundos sobre o comportamento ondulatório da luz. Desta forma, a compreensão detalhada desses indicadores fornece-nos o suporte metodológico necessário para a análise dos episódios de ensino, os quais discutiremos detalhadamente no próximo capítulo de análise de resultados.

3.4 O DESENVOLVIMENTO DE PRÁTICAS EPISTÊMICAS E CIENTÍTICAS

Sob uma perspectiva epistemológica, Bachelard (1996) ressalta que o avanço do conhecimento científico ocorre por meio da superação de obstáculos epistemológicos, os quais correspondem às concepções intuitivas que limitam a compreensão dos fenômenos. Ao reconhecermos o erro como parte constituinte do processo de aprendizagem, o ensino de Física passa a promover rupturas produtivas, nas quais o equívoco se converte em instrumento de formação intelectual e em ferramenta epistemológica. Desta forma, essa concepção possibilita que os estudantes transitem gradualmente de explanações ancoradas no senso comum para construções conceituais mais refinadas, fundamentadas em evidências empíricas e teóricas.

Assim, ao assumirmos a perspectiva bachelardiana de que o conhecimento científico se edifica sobre a retificação de ideias prévias, evidencia-se a centralidade da mediação docente na criação de ambientes de aprendizagem que valorizem o erro como etapa produtiva. Nesse contexto, os estudantes, mobilizando suas vivências e repertórios interpretativos, são convidados a confrontar suas hipóteses iniciais com os fenômenos investigados, o que lhes confere protagonismo na reelaboração conceitual. Tal abordagem alinha-se à ênfase de Sasseron (2018) nas práticas científicas e epistêmicas ao propor que a construção do conhecimento em sala de aula ocorre por meio de interações argumentativas e do uso de evidências, colocando os sujeitos como agentes ativos na produção de sentidos sobre o mundo natural.

No cenário contemporâneo da educação científica, pesquisas têm reforçado a centralidade das práticas epistêmicas para o ensino de Física. Nessa direção, Studart (2021) demonstra que metodologias fundamentadas na investigação e na argumentação favorecem aprendizagens mais profundas e duradouras, uma vez que permitem aos estudantes apropriarem-se do conhecimento de maneira ativa e reflexiva. Ademais, tais práticas transformam a sala de aula em um espaço dialógico e colaborativo, no qual o erro, o debate e a revisão contínua das ideias assumem papel estruturante na construção do saber.

Logo, ao articularmos os resultados apontados por Studart (2021) com as premissas do ensino por investigação, evidencia-se que a promoção de ambientes dialógicos

não apenas potencializa a apropriação conceitual, mas também reposiciona os estudantes como sujeitos legítimos na produção de conhecimentos. Essa reposição valoriza suas experiências prévias e sua capacidade de argumentar com base em evidências, elementos essenciais para que as práticas epistêmicas se consolidem como eixo estruturante da ação pedagógica.

No que se refere à articulação entre teoria e prática, Leão e Kolcenti (2021) apontam que metodologias investigativas e experimentais favorecem a integração dessas dimensões, promovendo o desenvolvimento do pensamento crítico e a compreensão dos fenômenos físicos cotidianos sob uma ótica científica. Ademais, os autores destacam que o ensino de Física, quando sustentado por atividades investigativas, amplia as oportunidades para o exercício de competências epistêmicas tais como observação, inferência, argumentação e validação de resultados. Dessa forma, o estudante passa a compreender a ciência como um empreendimento humano e coletivo, caracterizado pela busca constante por explicações e pela reavaliação das próprias certezas.

Assim, ao incorporarmos as contribuições de Leão e Kolcenti (2021) acerca do papel das atividades investigativas na articulação teoria-prática, evidenciamos que tais abordagens criam condições para que os estudantes mobilizem suas experiências cotidianas como ponto de partida para a construção de explicações cientificamente fundamentadas. Essa mobilização não apenas fortalece a autonomia intelectual dos sujeitos, como também os insere em práticas epistêmicas nas quais a validação de hipóteses e a argumentação coletiva assumem papel central. Essa perspectiva converge com a ênfase atribuída por Silva, Gerolin e Trivelato (2018) à autonomia do estudante como condição imprescindível para que práticas epistêmicas se efetivem no contexto do ensino por investigação.

Ao considerarmos a formação epistemológica dos estudantes, Driver, Leach, Millar e Scott (1996) defendem que o ensino deve possibilitar a compreensão não apenas dos produtos da ciência, mas também dos processos pelos quais o conhecimento é construído, reconhecendo seu caráter provisório, argumentativo e socialmente situado. Nessa perspectiva, as práticas epistêmicas assumem papel fundamental, uma vez que inserem os estudantes nos modos de pensar, agir e justificar

características da produção científica. Ademais, ao proporem hipóteses, avaliarem evidências e legitimarem ideias no contexto das atividades investigativas, os estudantes vivenciam a epistemologia científica em ação (Kelly; Licona, 2018), passando a compreender o conhecimento como uma construção humana passível de revisão contínua.

No âmbito da educação científica, autores como Hodson (2014) e Aikenhead (2006) defendem que a formação escolar deve ultrapassar o domínio estritamente conceitual, alcançando também as dimensões sociopolíticas e culturais que permeiam a produção e a aplicação do conhecimento. Para atingirmos esse propósito formativo mais amplo, o ensino por investigação assume papel central, na medida em que mobiliza os estudantes em processos ativos de construção e validação de explicações. Ao incorporarmos práticas epistêmicas em sala de aula, tais como debates orientados, análise de controvérsias e investigação de fenômenos do cotidiano, o ensino de Física se configura como um espaço de reflexão crítica e de construção de sentidos que aproxima a ciência da realidade dos alunos.

No que se refere à articulação entre o engajamento epistêmico e a formação integral dos estudantes, Rosa, Darroz e Minosso (2019) afirmam que a participação em práticas epistêmicas está intimamente ligada à compreensão ampla do fazer científico, uma vez que permite assimilar não apenas os conceitos e leis da Física, mas também a natureza da ciência e suas implicações sociais, éticas e ambientais. Ademais, os autores destacam que essa perspectiva se concretiza quando os estudantes são convidados a agir como investigadores, analisando problemas reais e reconhecendo a presença da Física em seu cotidiano. Dessa forma, o ensino fundamentado em práticas epistêmicas contribui para a formação de cidadãos autônomos e socialmente conscientes, capazes de participar ativamente de decisões baseadas em evidências e em valores éticos.

Em suma, as perspectivas teóricas discutidas neste capítulo evidenciam que a aprendizagem em Física alcança sua plenitude quando os estudantes são desafiados a agir, pensar e comunicar de maneira análoga à atividade científica. Dessa forma, fundamentamo-nos nas premissas do Ensino por Investigação, enquanto cenário promotor de interações dialógicas, bem como nas categorias de Práticas Epistêmicas

e Científicas para estruturar a intervenção pedagógica no campo da Óptica Física. De igual modo, esses mesmos fundamentos teóricos fornecem os critérios metodológicos e os indicadores analíticos necessários para analisar as falas dos estudantes, permitindo-nos compreender como o conhecimento foi negociado e validado no contexto da sala de aula.

Portanto, ao assumirmos a articulação entre Ensino por Investigação e Práticas Epistêmicas e Científicas como eixos estruturantes da proposta didática, reconhecemos que a mediação do professor se orienta pela criação de condições para que os estudantes mobilizem suas vivências e repertórios interpretativos na formulação de questões, na coleta e análise de evidências e na comunicação de conclusões. Essa abordagem, ao valorizar a autonomia intelectual e a natureza argumentativa da construção do saber, alinha-se às ideias de Silva, Gerolin e Trivelato (2018) na necessidade de que o ensino por investigação assegure espaços nos quais os estudantes possam exercitar práticas epistêmicas de forma situada e significativa. A operacionalização desses pressupostos na SEI sobre Difração da Luz será detalhada no capítulo metodológico, no qual explicitaremos as etapas da intervenção e os instrumentos de coleta de dados concebidos para capturar os processos de negociação e validação de sentidos pelos participantes da pesquisa.

Essa noção de negociação e validação de sentidos, contudo, não decorre de um princípio pedagógico isolado, mas se ancora em uma teoria de aprendizagem que sustenta tanto o Ensino por Investigação quanto o desenvolvimento das práticas epistêmicas e científicas propostas por Sasseron e Carvalho. Essa abordagem apoia-se em uma lógica construtivista e interacionista, dialogando de forma harmoniosa com a perspectiva sociocultural de Vygotsky. Para Vygotsky, o desenvolvimento cognitivo ocorre primordialmente por meio da interação social e da mediação da linguagem; o aprendizado não é um processo de absorção passiva, mas uma construção mediada socialmente.

Nesse contexto, os indicadores de práticas epistêmicas e científicas não são apenas métricas de avaliação, mas elementos que dão materialidade e visibilidade a essa compreensão da aprendizagem. Quando um estudante externaliza uma hipótese e a comunica aos pares, ele está utilizando a linguagem como ferramenta simbólica para

reorganizar seu próprio pensamento e atuar na Zona de Desenvolvimento Proximal do grupo. A aprendizagem torna-se, assim, um processo explícito de negociação de significados, onde a autoridade epistêmica é compartilhada entre os estudantes sob a mediação do professor.

Em suma, as perspectivas teóricas discutidas neste capítulo evidenciam que a aprendizagem em Física alcança a sua plenitude quando os estudantes são desafiados a agir, pensar e comunicar de forma análoga à atividade científica. Desta forma, fundamentamos esta pesquisa nas premissas do Ensino por Investigação, compreendido como um cenário promotor de interações dialógicas, e nas categorias de Práticas Epistêmicas e Científicas, as quais estruturaram nossa intervenção pedagógica no campo da Óptica Física. Ademais, verificamos que esses fundamentos teóricos fornecem os critérios metodológicos e os indicadores analíticos necessários para analisarmos as falas e ações dos estudantes.

4 DIFRAÇÃO DA LUZ

4.1 A EVOLUÇÃO DO ESTUDO DA LUZ E A DESCOBERTA DA DIFRAÇÃO

Ao longo da história, o conhecimento científico vem evoluindo e as percepções referentes à natureza vão se adaptando e modificando de acordo com as evoluções da tecnologia, da ciência e da sociedade. Com a óptica isso não foi diferente: ao longo da história, o estudo da luz passou por várias formulações teóricas. As primeiras teorias acerca da luz começaram com as ideias filosóficas dos gregos, ainda antes de Cristo, e avançaram até os dias atuais.

Entre os gregos antigos, existiam vários filósofos que buscavam entender o comportamento da luz e o que ela era. Seus estudos focavam principalmente na tentativa de entender o que era a luz e qual o seu papel no processo da visão. Entre os gregos que estudaram a luz, podemos citar Aristóteles, Euclides, Heron, Platão e Ptolomeu. Os gregos focaram principalmente em teorias para explicar a visão e no estudo de alguns conceitos da óptica geométrica, como reflexão, refração e propagação retilínea da luz. Existiam duas teorias que receberam mais destaque na Grécia antiga: a teoria atomista, que defendia que os objetos, ao serem atingidos pela luz, emitem finas camadas de átomos que chegavam até os olhos e ativavam a visão; e a teoria do fogo solar e do fogo dos olhos, segundo a qual a luz do sol e das chamas emitem luz, e os olhos também emitem raios luminosos, sendo o encontro desses dois fluxos que ativaria o sentido da visão.

Com o material produzido pelos gregos, o estudo da luz também evoluiu com pesquisadores árabes e persas por volta do século X. Entre eles, destacam-se nomes como Alhazen e Al-Kindi. Para Alhazen, o ar é transparente em si, e a luz difusamente refletida é a causa direta da visão. Ele traz em seu livro estudos sobre o aumento aparente dos astros no horizonte, análise da duração do crepúsculo do Sol, reflexão em espelhos esféricos, rejeição da teoria grega de que o olho enviava raios ao objeto mirado e análises sobre a estrutura do olho. Além disso, Alhazen defendia a ideia proposta por Aristóteles de que a cor era uma propriedade intrínseca dos corpos transmitida ao olho através do meio transparente (Darrigol, 2012).

Giovanni Battista della Porta (século XVI), um nobre de Nápoles, fez comparações entre o olho humano e uma câmera escura em sua obra “Magia Naturalis”, publicada em 1558 e depois em 1589. Ele defendia a ideia de que o humor vítreo era a parte sensível do olho, porém não conseguiu relacionar o cristalino com a lente da sua câmera escura. Contudo, reconheceu que as lentes podiam formar uma imagem nítida de um objeto em um papel. Ademais, Porta também explicou como aprimorar a imagem projetada pela câmera escura ao inserir uma lente de vidro na sua abertura.

Em 1611, na cidade de Nápoles, o religioso beneditino Francesco Maurolico fez uma analogia entre o humor cristalino do olho humano e uma lente biconvexa. Ele chegou à conclusão de que distúrbios visuais como miopia e hipermetropia são causados por uma convergência demasiado acentuada ou insuficiente dessa “lente”, e que tais condições poderiam ser corrigidas com o uso de óculos.

Kepler, em 1604, fez uma descoberta fascinante: percebeu que o olho humano opera como uma sofisticada máquina óptica, formando imagens nítidas e detalhadas (pictura) de objetos distantes diretamente na retina. As descobertas científicas no campo da óptica, desde os gregos até Kepler, foram direcionadas à compreensão da luz e da visão. Inicialmente, a óptica era vista como uma teoria da visão, onde a luz apenas facilitava a transferência de imagens para o olho, sem implicar um trajeto luminoso do objeto ao olho. Diferentes filósofos tinham teorias variadas sobre como isso ocorria. No segundo milênio, Alhazen colocou a luz como elemento central da óptica, mas ainda mantinha conceitos antigos, como os raios visuais emitidos pelos olhos, defendidos pelos gregos. Contudo, foi Kepler quem revolucionou essa compreensão ao descartar essas ideias gregas, considerando o olho como um instrumento óptico que formava imagens na retina. Ele defendeu a ideia da intersecção dos raios luminosos e sua importância para medir distâncias. Além disso, Kepler explicou como instrumentos poderiam corrigir ou aprimorar a visão, afastando-se das ideias gregas e aplicando métodos mais apropriados para o entendimento da óptica.

Descartes explicou o fenômeno da refração utilizando a analogia de uma bola que altera sua trajetória ao transitar do ar para a água, mudando também sua velocidade. No entanto, ele presumiu que a luz, por possuir uma velocidade infinita, não sofreria

essa alteração de velocidade. Em contraste com Kepler, Descartes (1637) concebeu a ideia de imagens virtuais, formadas pelo encontro dos prolongamentos dos raios de luz desviados por um instrumento óptico e que emanam de um mesmo ponto do objeto observado. Essa concepção pode ser verificada nas ilustrações que ele criou para demonstrar os efeitos de prismas, lentes e espelhos na visão. No entanto, ele não desenvolveu essa teoria mais a fundo, deixando um vasto campo para futuras explorações e avanços na compreensão dos fenômenos ópticos.

Foi nesse contexto que, em 1665, o italiano Francesco Maria Grimaldi fez uma descoberta fundamental para a óptica ondulatória. Em uma série de experimentos meticulosos, Grimaldi examinou a sombra formada em uma tela distante por um objeto fino iluminado pelo sol, que atravessava um pequeno orifício em uma persiana. Ele observou que, quando o orifício é muito pequeno, como um buraquinho de alfinete, e a distância ao anteparo de observação é suficientemente grande, a luz penetra na região de sombra geométrica, com o aparecimento de franjas claras e escuras na vizinhança do limite da sombra. Esse fenômeno, que ele denominou “difractio” (difração), representava um desvio da propagação retilínea da luz, não podendo ser explicado pelos conceitos conhecidos de reflexão, refração ou dispersão. Grimaldi concluiu com precisão que esse efeito era resultado de um modo de propagação da luz até então desconhecido.

A teoria de Grimaldi sobre a luz possivelmente surgiu após ele identificar esse fenômeno óptico inédito. Seus experimentos demonstraram que, ao contrário do que previa a óptica geométrica, a luz não se limita a formar uma sombra nítida quando encontra um obstáculo ou abertura. Em vez disso, ela sofre desvios, contornando bordas e gerando padrões de franjas. Esses desvios foram chamados de difração, nome ligado à “deflexão” dos raios luminosos. Nesse sentido genérico, a difração tanto pode aplicar-se à passagem através de uma abertura como ao espalhamento por um obstáculo.

Os fenômenos de difração, assim como os de interferência, aos quais estão estreitamente ligados, são características fundamentais de uma teoria ondulatória. Quanto maior o comprimento de onda em relação às dimensões da abertura ou obstáculo, mais fortes devem ser os efeitos de difração. Por exemplo, a luz vermelha

sofre desvios maiores do que a luz azul. Na acústica, onde os comprimentos de onda são da mesma ordem de grandeza que o tamanho dos objetos encontrados na propagação, os efeitos de difração são muito fortes.

Essa descoberta de Grimaldi influenciou profundamente os debates sobre a natureza da luz no século XVII. Figuras como Hooke e Huygens, que defendiam a natureza ondulatória da luz, encontraram nos experimentos de difração evidências importantes para suas teorias.

Hooke, em 1665, teorizou que o som era a sucessão de pulsos produzidos pelo batimento periódico do ar, como demonstrou mais tarde utilizando uma roda dentada giratória. Seu conceito de luz era uma versão mais rápida desse mesmo processo. Hooke acreditava que a luz tinha natureza ondulatória, propagando-se através de um meio contínuo, que ele chamou de “éter”. Essa visão contrastava com a teoria corpuscular da luz, defendida por Isaac Newton.

Huygens, por sua vez, chegou à conclusão de que a luz se propaga de uma maneira distinta, e que o conhecimento sobre a propagação do som no ar poderia ajudar a entender isso. Ele concordou com Pardies que som e luz não se propagam da mesma maneira, já que os experimentos no vácuo de Torricelli e Boyle demonstraram que o som precisa do ar para se propagar, enquanto a luz não. Assim como Pardies (e Aristóteles), Huygens referiu-se ao meio da luz como éter, reconhecendo a diferença fundamental entre a propagação do som e da luz.

No início do século XIX, Thomas Young fez contribuições fundamentais para a óptica, sendo uma figura central na defesa da teoria ondulatória da luz. Sua descoberta mais significativa foi o princípio da interferência, que ele introduziu para explicar uma série de fenômenos ópticos, incluindo as cores de placas finas e os padrões observados em superfícies estriadas. Young demonstrou que, quando duas ondas de luz provenientes da mesma fonte seguem caminhos diferentes e depois se encontram, elas podem interferir construtiva ou destrutivamente, dependendo da diferença de fase entre elas.

Poucos anos depois, Augustin-Jean Fresnel, de forma independente, aprofundou os estudos sobre a difração da luz, utilizando experimentos para confirmar sua inclinação para a teoria ondulatória. Embora suas descobertas iniciais tenham corroborado os resultados de Young, Fresnel dedicou-se a uma análise matemática detalhada que o levou a formular o princípio de Huygens-Fresnel, essencial para calcular a amplitude da luz difratada. Fresnel também expandiu seus estudos para a polarização da luz, propondo que a luz era composta por ondas transversais, um conceito revolucionário para a época.

A sofisticação matemática das teorias de Fresnel e sua capacidade de explicar quantitativamente fenômenos como a difração e a interferência foram fundamentais para a aceitação da teoria ondulatória da luz no século XIX. Seus métodos rigorosos e resultados precisos destacaram-se como provas decisivas contra a teoria corpuscular, solidificando a teoria ondulatória na física.

Hoje, sabemos que os fenômenos de difração podem ser classificados em duas categorias, conforme a distância entre o objeto difratante e o anteparo de observação. Quando essa distância não é excessivamente grande, a imagem observada preserva certa semelhança com a forma geométrica do objeto, embora apareça rodeada ou entremeada por franjas, caracterizando a chamada difração de Fresnel. Quando a distância é suficientemente grande (formalmente, tendendo ao infinito), o resultado passa a depender somente da direção de observação, e a figura de difração observada não guarda mais semelhança com a forma geométrica da abertura, caracterizando a difração de Fraunhofer.

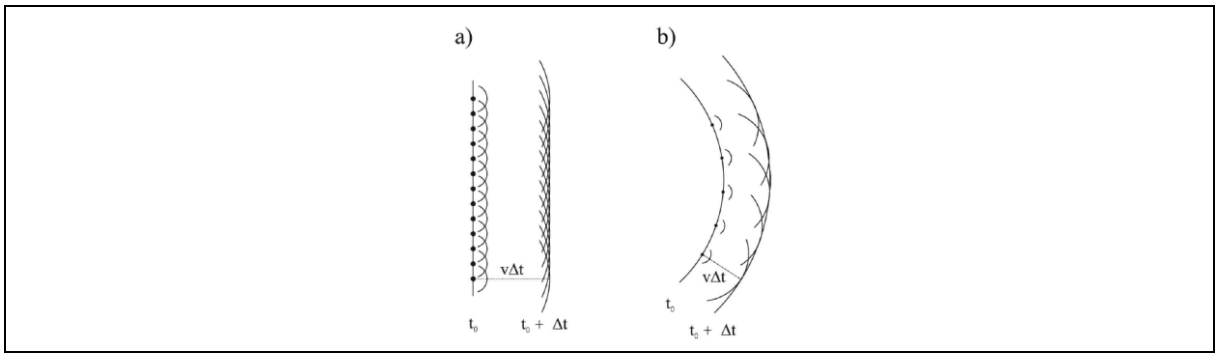
Essa distinção, que tem suas raízes nos experimentos pioneiros de Grimaldi e no desenvolvimento matemático de Fresnel, permanece até hoje como um conceito fundamental no estudo da óptica física.

4.2 DIFRAÇÃO DA LUZ

O Princípio de Huygens estabelece uma base geométrica fundamental para a compreensão da propagação ondulatória. Segundo essa proposição, cada ponto de

uma frente de onda primária comporta-se como uma fonte pontual de ondas secundárias esféricas. Após um intervalo de tempo determinado, a nova posição da frente de onda é definida pela superfície tangente a essas ondas secundárias, conforme ilustrado na Figura 1

Figura 1 - Representação geométrica da propagação de frentes de onda com base no princípio de Huygens. Em (a), observa-se a evolução de uma frente de onda plana e, em (b), de uma frente de onda esférica, ambas geradas envoltória das ondículas secundárias.



Fonte: Física 4, Fundação Cecierj/Consórcio Cederj (2010).

A determinação da propagação de uma frente de onda baseia-se no fato de que cada ponto da frente original atua como uma fonte de ondas esféricas secundárias. A configuração da onda em um plano posterior é definida pela envoltória resultante desse conjunto de ondas secundárias (Figura 1).

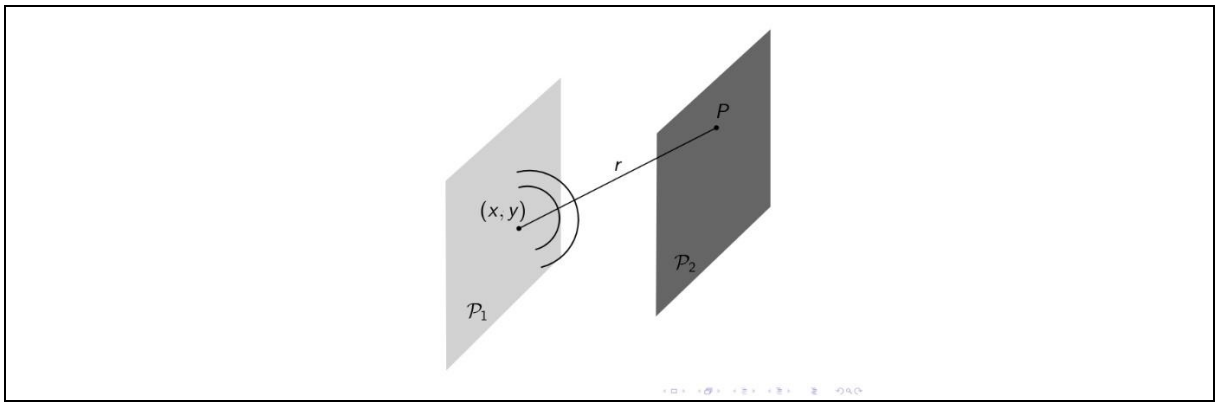
Para uma descrição quantitativa, utiliza-se o conceito de superposição de ondas, o que aproxima o fenômeno da propagação ao problema clássico de interferência de múltiplas fontes. Ao incorporar formalmente a interferência dessas ondas secundárias, o modelo evolui para o denominado Princípio de Huygens-Fresnel, em reconhecimento às contribuições de Augustin Fresnel para a compreensão da natureza ondulatória da luz.

Nesta análise, de forma análoga ao estudo de fenômenos de interferência, os efeitos de polarização da luz serão negligenciados para simplificação do modelo. Assim, o campo elétrico $\vec{E}(\vec{r},t)$ associado à radiação, de comprimento de onda λ, pode ser representado por uma grandeza escalar $\Psi(\vec{r})$, que descreve a dependência espacial

de uma componente cartesiana específica do campo. A dependência temporal, da forma $E^{-i\omega t}$, será omitida por brevidade no desenvolvimento matemático.

Considere que $\Psi(x,y)$ seja conhecido em todos os pontos (x,y) de um plano P_1, posicionado perpendicularmente ao eixo z. Segundo o princípio de Huygens-Fresnel, cada ponto (x,y) deste plano atua como fonte de uma onda esférica, cuja amplitude é proporcional ao valor do campo $\Psi(x,y)$ naquele ponto, conforme esquematizado na Figura 2.

Figura 2 - Esquema de propagação de frentes de onda: o ponto de observação P recebe contribuições de todas as fontes secundárias localizadas no plano P_1.



Fonte: Física 4, Fundação Cecierj/Consórcio Cederj (2010).

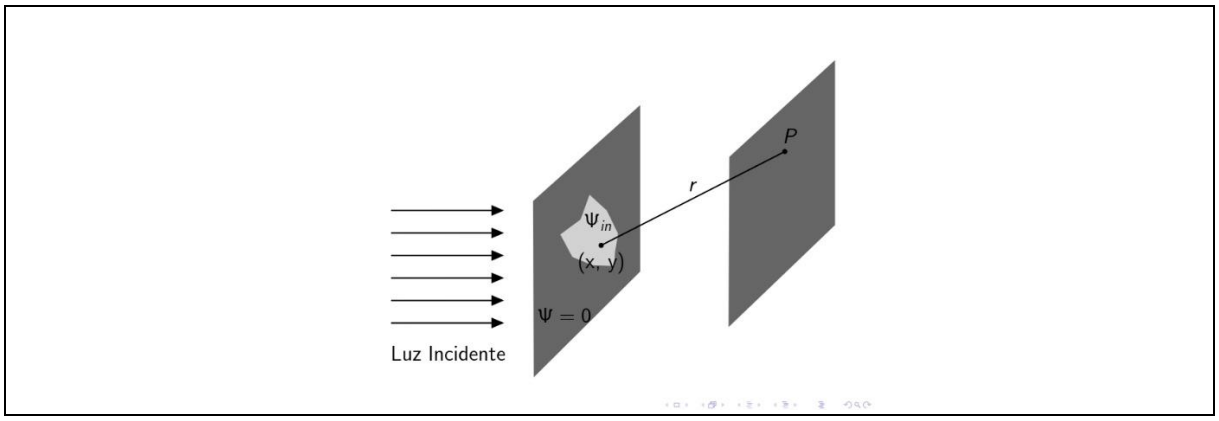
Para determinar o campo resultante em um ponto P pertencente a um plano posterior B, deve-se realizar a superposição das contribuições de todas as ondas esféricas originadas em cada ponto do plano primário A. Dado que as coordenadas dos pontos nas frentes de onda variam de forma contínua, essa soma é formalmente expressa por uma integral de superfície sobre o plano:

$$\Psi(P) = \frac{1}{i\lambda}\int_{-\infty}^{+\infty} dx \int_{-\infty}^{+\infty} dy\, \Psi(x,y)\frac{e^{ikr}}{r} \qquad (1)$$

Nesta expressão, r representa a distância entre o ponto (x,y), a fonte da onda esférica, e o ponto de observação P no plano P_2. O termo e^{ir}/r caracteriza o fator de propagação da onda esférica, onde o número de onda é definido por $k = 2\pi/\lambda$.

Em contextos práticos de difração, considera-se a incidência de uma onda sobre um anteparo opaco que contém uma abertura, como ilustrado na Figura 3. Sob a condição de que o comprimento de onda λ seja significativamente menor que as dimensões da abertura, adota-se a aproximação de que o campo é nulo nos pontos obstruídos pelo anteparo e idêntico ao campo incidente, Ψ_{in}, na região da abertura.

Figura 3 - Difração por uma abertura na aproximação de Kirchhof



Fonte: Física 4, Fundação Cecierj/Consórcio Cederj (2010).

Considerando a situação física em que uma onda incide sobre um plano opaco contendo uma abertura, quando o comprimento de onda λ é significativamente menor que as dimensões da abertura, assume-se que o campo é nulo nos pontos obstruídos pelo anteparo e idêntico ao campo incidente, Ψ_{in}, na região da abertura. Esta premissa constitui a chamada aproximação de Kirchhoff, que permite obter o campo difratado a partir do Princípio de Huygens-Fresnel tomando-se o próprio plano da abertura como o plano de fontes P_1.

Para o cálculo da integral da Equação 1 sob esta aproximação, substitui-se o valor do campo $\Psi(x,y)$ pelo campo incidente $\Psi_{in}(x,y)$ nos pontos da abertura, e por zero nos pontos do anteparo opaco. Obtém-se, assim:

$$\Psi(P) = \frac{1}{i\lambda}\int_{abertura} dx\, dy\, \Psi_{in}(x,y)\frac{e^{ikr}}{r} \qquad (2)$$

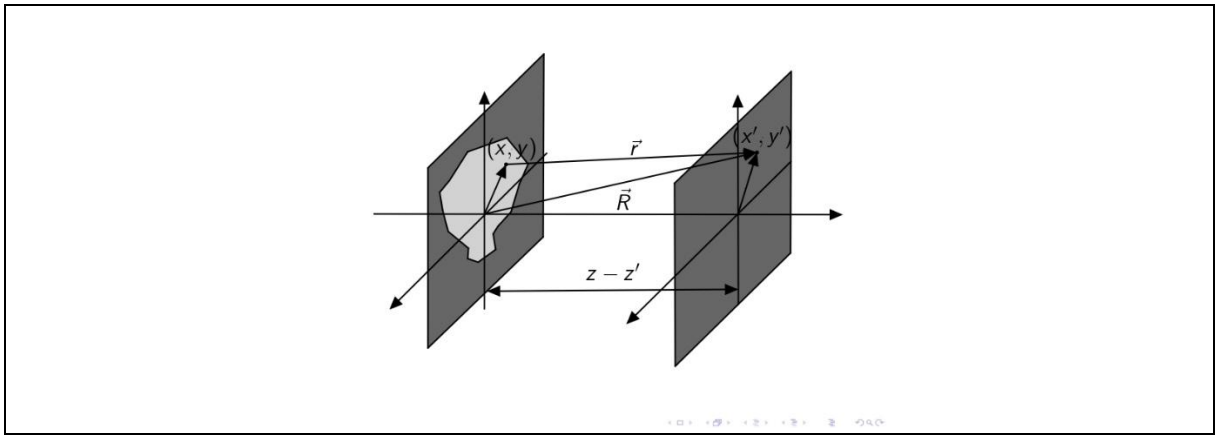
Dessa forma, a integração passa a restringir-se exclusivamente à geometria da abertura, desconsiderando as demais regiões do plano P_1.

Desta forma, os efeitos de difração são classificados de acordo com a distância relativa entre o obstáculo (ou abertura) e o anteparo de observação. Quando o anteparo se encontra em uma região de proximidade ao obstáculo, o fenômeno é denominado difração de Fresnel. Por outro lado, quando o plano de observação está situado a uma distância suficientemente grande para que as frentes de onda possam ser consideradas planas, caracteriza-se o regime de difração de Fraunhofer. Este capítulo dedicar-se-á exclusivamente a este segundo caso, explorando seu formalismo matemático e suas diversas aplicações práticas na modelagem de sistemas ópticos.

4.3 A DIFRAÇÃO DE FRAUNHOFER E SUAS APLICAÇÕES

A difração de Fraunhofer caracteriza-se pela condição em que a abertura é significativamente pequena se comparada à distância entre o plano da abertura e o plano de observação. Sob essas circunstâncias, os valores assumidos pelas coordenadas (x, y) no cálculo da integral de difração são muito menores que a distância R entre a origem do plano da abertura e o ponto de observação P. Essa aproximação permite simplificar a integral de Kirchhoff, sendo amplamente aplicável na maioria das situações práticas onde o fenômeno da difração é relevante.

Figura 4 - Plano da abertura e plano de observação contendo o ponto P onde se pretende obter o valor do campo na aproximação de Fraunhofer.



Fonte: Física 4, Fundação Cecierj/Consórcio Cederj (2010).

A principal dificuldade no cálculo da Equação 2 reside na dependência do integrando em relação à distância r, presente tanto na fase quanto na amplitude (ver Figura 4). Geometricamente, a distância r é dada por:

$$r = \sqrt{(x - x')^2 + (y - y')^2 + (z - z')^2}$$

Para simplificar essa expressão, escreve-se r em função de R:

$$r = R\sqrt{1 + \frac{x^2 - 2xx'}{R^2} + \frac{y^2 - 2yy'}{R^2}} \tag{3}$$

Considerando que os termos sob a raiz da Equação 3 são muito menores que a unidade $\frac{x^2-2xx'}{R^2}$ e $\frac{y^2-2yy'}{R^2}$, aplica-se uma expansão em série de Taylor (teorema binomial). Ao truncar a série no segundo termo e desprezar os termos quadráticos $\frac{x^2}{2R}$ e $\frac{y^2}{2R}$ por serem extremamente pequenos, obtém-se a aproximação linear para a distância:

$$r \approx R - x\frac{x'}{R} - y\frac{y'}{R} \tag{4}$$

Substituindo a aproximação linear (Equação 4) na integral de Kirchhoff, o termo exponencial e^{ikr} pode ser retirado da integração por ser constante em relação a x e y:

$$\Psi(P) = \frac{e^{ikR}}{i\lambda}\int_{abertura} \Psi_{in}(x,y)\frac{e^{-ik(x\frac{x'}{R}+y\frac{y'}{R})}}{R - x\frac{x'}{R} - y\frac{y'}{R}}\,dxdy \tag{5}$$

No denominador, as parcelas $x\frac{x'}{R}$ e $y\frac{y'}{R}$ são desprezíveis frente à unidade. Contudo, no argumento da exponencial, o termo de fase $-i(kxx' + kyy')/R$ possui módulo da ordem da unidade e deve ser preservado. Resulta-se, portanto, na expressão final para a difração de Fraunhofer:

$$\Psi(P) = \frac{e^{ikR}}{i\lambda R} \int_{abertura} \Psi_{in}(x,y)\, e^{-ik(x\frac{x'}{R}+y\frac{y'}{R})}\, dxdy \qquad (5)$$

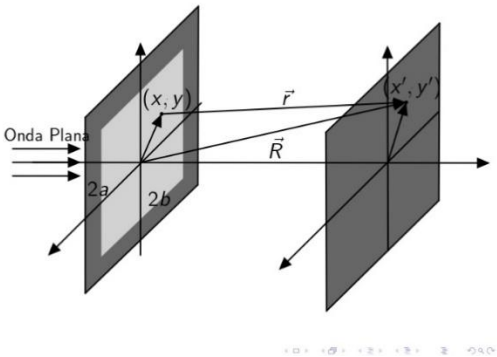
A interpretação física desse resultado indica que a Equação 5 descreve uma onda esférica originada na abertura, na qual a dependência espacial é determinada exclusivamente pelo fator de propagação e^{ikR}/R. Tal comportamento concorda a expectativa teórica de que, ao ser observada de uma distância suficientemente grande, a abertura passe a atuar e a ser percebida como uma fonte puntiforme.

No entanto, a amplitude da onda esférica depende das direções de incidência e de observação, por meio da integral sobre a abertura, que representa a amplitude de difração na direção de $\hat{R}$. Portanto, a figura de difração de Fraunhofer só depende das direções, embora a intensidade caia com $1/R^2$.

4.3.1 Difração por uma abertura retangular

Uma aplicação clássica e de grande relevância prática da teoria de Fraunhofer é o cálculo do padrão de difração gerado por uma abertura retangular sobre um plano opaco. Considere uma abertura de dimensões $2a$ por $2b$ situada no plano xy, conforme ilustrado na Figura 5. O centro da abertura coincide com a origem do sistema de coordenadas.

Figura 5 – Difração de Fraunhofer para uma abertura retangular de lados 2a e 2b.



Fonte: Física 4, Fundação Cecierj/Consórcio Cederj (2010).

Para este caso, assume-se que a abertura é iluminada por uma onda plana uniforme de amplitude constante, de modo que o campo incidente $\Psi_{in}(x,y,z) = A_0 e^{i\vec{k}_0 \cdot \vec{r}}$ é uniforme em toda a região da fenda. Além disso, vamos supor que o plano da abertura tem coordenada $z = 0$ para calcular o valor do campo incidente no ponto (x,y) da abertura a partir da

$$\Psi_{in}(x,y) = A_0 e^{i(k_{0x}x + k_{0y}y)}, \tag{6}$$

onde k_{0x} e k_{0y} são as componentes cartesianas do vetor de onda $\vec{k}_0$ da onda plana incidente.

Para incidência normal, as componentes k_{0x} e k_{0y} são nulas, e o campo na abertura será uniforme, ou seja, $\Psi_{in}(x,y) = A_0$. Substituindo este valor na expressão final da difração de Fraunhofer, obtemos:

$$\Psi(P) = \frac{e^{ikR}}{i\lambda R} \int_{-a}^{+a} dx \int_{-b}^{+b} dy\, A_0 e^{ik(\frac{xx'}{R} + \frac{yy'}{R})}. \tag{7}$$

Com isso ficamos apenas com

$$\Psi(P) = \frac{A_0 e^{ikR}}{i\lambda R} \int_{-a}^{+a} dx\, e^{-\frac{ikx'}{R}x} \int_{-b}^{+b} dy\, e^{-\frac{iky'}{R}y}. \tag{8}$$

Ao resolver as integrais exponenciais, obtemos:

$$I = \int_{-\alpha}^{+\alpha} e^{-i\beta x}\, dx = \frac{2\sin\beta\alpha}{-i\beta} \tag{9}$$

Aplicando este resultado com $\alpha = a$ e $\beta = kx'/R$ na primeira e $\alpha = b$ e $\beta = ky'/R$ na segunda, obtemos:

$$\Psi(P) = A_0 \frac{e^{ikR}}{i\lambda R} \frac{2\sin\left(\frac{kx'a}{R}\right)}{-i\left(\frac{kx'}{R}\right)} \frac{2\sin\left(\frac{ky'b}{R}\right)}{-i\left(\frac{ky'}{R}\right)}. \quad (10)$$

Calculado o campo em um plano após uma onda plana atravessar uma abertura retangular sob a condição de Fraunhofer, a expressão anterior define o padrão de difração resultante. Deve-se notar que, em experimentos ópticos, a grandeza mensurável não é a amplitude do campo, mas sim a intensidade luminosa, que é proporcional ao quadrado do seu módulo. Dessa forma, ao normalizar a intensidade em relação ao valor central $I_0 = |A_0|^2$ e considerar a área total da abertura, obtém-se a distribuição da intensidade relativa. Essa abordagem, que consiste em dividir o módulo quadrado do campo no plano de observação pelo valor correspondente no plano da abertura, fornece uma aproximação robusta que pode ser verificada experimentalmente em uma atividade experimental, demonstrando a precisão do modelo para o padrão de difração retangular.

$$\frac{I(P)}{I_0} = \frac{|A_0|^2}{|A_0|^2} \frac{\left|e^{ikR}\right|^2}{\lambda^2|R|^2} \left| \frac{2\sin\left(\frac{kx'a}{R}\right)}{-i\left(\frac{kx'}{R}\right)} \frac{2\sin\left(\frac{ky'b}{R}\right)}{-i\left(\frac{ky'}{R}\right)} \right|^2 \quad (11)$$

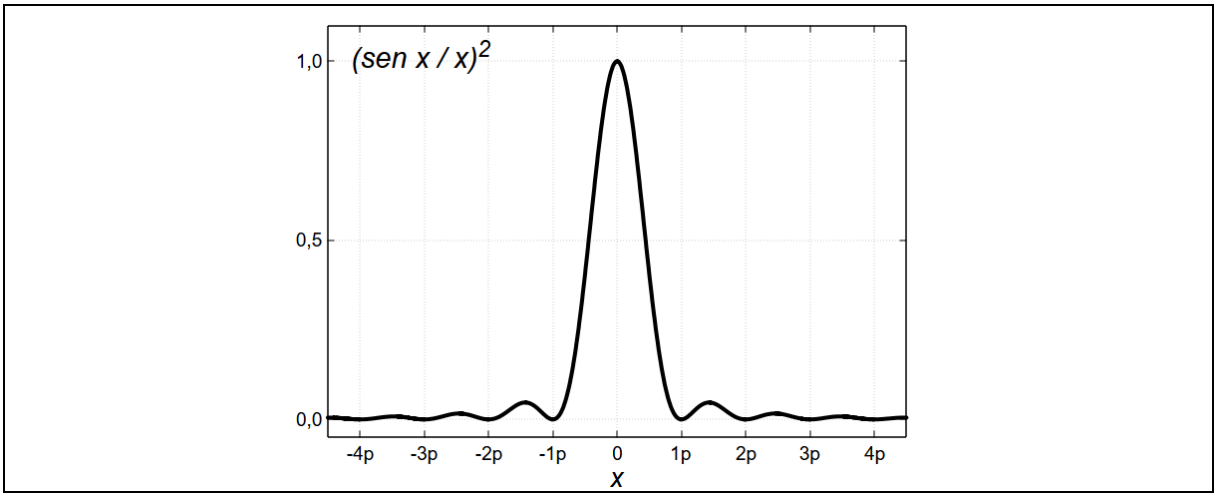
Na expressão acima os termos $|A_0|^2$ se cancelam e o módulo quadrado das exponencias complexas são iguais a um, assim como o módulo de $-i$. Para finalizar, multiplicamos e dividimos a equação por ab de modo que os argumentos dos senos e cossenos fiquem iguais, ou seja,

$$\frac{I(P)}{I_0} = \frac{1}{\lambda^2|R|^2} \left| \frac{2a\sin\left(\frac{kx'a}{R}\right)}{\left(\frac{kx'a}{R}\right)} \right|^2 \left| \frac{2b\sin\left(\frac{ky'b}{R}\right)}{-i\left(\frac{ky'b}{R}\right)} \right|^2, \quad (12)$$

onde o fator $1 / R^2$ mostra que à medida que nos afastamos do plano da abertura, a intensidade cai com o quadrado da distância.

Para visualizar o padrão de difração que será observado experimentalmente, procedemos com a construção gráfica das funções de distribuição de intensidade. Considerando que as variáveis de posição no plano da abertura são definidas como x' e y', a análise da Equação 12 revela que o comportamento luminoso ao longo de ambos os eixos é regido por funções do tipo $\left(\frac{\sin x}{x}\right)^2$. Este perfil matemático, característico da função seno ao quadrado, descreve a alternância entre máximos e mínimos de intensidade que compõe a figura de difração, conforme ilustrado no gráfico da Figura 6.

Figura 6 – Gráfico da função $\sin^2 x \,/\, x^2$

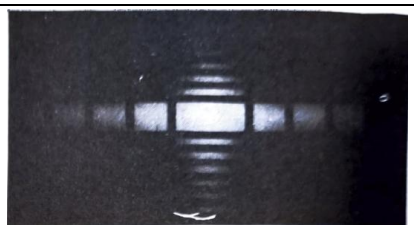


Fonte: Autor (2026).

Embora a expressão $\left(\frac{\sin x}{x}\right)^2$ apresente uma indeterminação analítica em $x = 0$, o comportamento do padrão de difração nesse ponto é fundamentado pelo limite fundamental da função, que converge para a unidade quando x tende a zero. Essa convergência matemática valida o perfil observado na Figura 6, indicando que o ponto de intensidade máxima ocorre justamente na origem das coordenadas transversais, onde $x' = y' = 0$. Fisicamente, esse resultado estabelece o centro da figura de difração na intersecção entre o eixo de propagação z e o anteparo de observação, definindo o ponto onde a concentração de energia luminosa é máxima.

Para simular o padrão de difração por uma abertura retangular, é preciso fazer um gráfico tridimensional. Veja, na Figura 7, como seria a situação experimental.

Figura 7 - Figura de difração de Fraunhofer de uma fenda retangular cuja altura é o dobro da sua largura.



Fonte: Alonso e Finn (2018).

Para avaliar a amplitude dos máximos sucessivos em um padrão de difração de fenda única, observa-se que esses pontos ocorrem quando a fração $\sin u\,/u$ assume seus valores máximos. A determinação dessas posições exige a solução da derivada $\frac{d}{du}\left(\frac{\sin u}{u}\right) = 0$, o que resulta na equação transcendental $\tan u = u$, cujas soluções podem ser visualizadas graficamente pela interseção das curvas $y = \tan u$ e $y = u$. Uma estimativa eficiente consiste em supor que esses máximos ocorrem próximos aos picos da função seno, ou seja, em $u = \left(n + \frac{1}{2}\right)\pi$, embora os valores reais de u sejam ligeiramente inferiores a essa aproximação. Ao desprezar essa pequena diferença, verifica-se que os valores de $\sin u\,/u$ nos pontos de máximo são dados por $1/\left(n + \frac{1}{2}\right)\pi$ resultando em intensidades relativas de $I = \frac{I_0}{\left(n+\frac{1}{2}\right)^2 \pi^2}$. Essa relação revela que as intensidades dos picos secundários decrescem rapidamente, assumindo valores aproximados de $0{,}045I_0$, $0{,}016I_0$ e $0{,}008I_0$ conforme a ordem do máximo aumenta (Alonso e Finn, 2018, p. 476).

Diferente do que o senso comum e a experiência cotidiana poderiam sugerir, a passagem da luz por uma abertura não resulta em uma projeção fiel do seu formato geométrico sobre um anteparo. Em vez de uma reprodução exata, a distribuição de intensidades no plano de observação exibe uma região central que se assemelha à abertura, mas é acompanhada pelo surgimento de franjas periféricas. Essas franjas caracterizam-se por variações sistemáticas na intensidade luminosa, manifestando-se como as “manchas” observadas nos padrões de difração típicos.

Conforme se observa na análise fenomenológica da difração, existe uma relação inversamente proporcional entre as dimensões da abertura e a dispersão do padrão

observado: na direção em que a fenda é mais estreita, o padrão de difração manifesta-se de forma mais larga, ao passo que na direção de maior largura, o padrão torna-se mais estreito. Essa característica implica que o primeiro máximo secundário afasta-se do máximo central à medida que a fenda se estreita, o que explica a dificuldade em observar a difração em aberturas macroscópicas. Em aberturas largas, a proximidade entre o máximo central e os secundários resulta em uma perda de contraste que dificulta a percepção visual do fenômeno, enquanto em aberturas pequenas, a separação entre esses pontos torna a visualização mais acessível. Exploraremos essa propriedade fundamental nas atividades da sequência didática, especialmente na Atividade 7, onde os alunos deverão inferir o formato da abertura do orifício a partir da análise do padrão de difração projetado.

Para a obtenção de um padrão de difração nítido, é fundamental a utilização de uma fonte de luz que apresente coerência e seja monocromática, requisitos análogos aos observados em experimentos de interferência. Caso seja empregada uma fonte de luz policromática, a dispersão fará com que os máximos secundários correspondentes a cada comprimento de onda incidam em posições distintas no anteparo. Esse fenômeno resulta na sobreposição das diferentes cores, o que acaba por borrar a figura de difração e dificultar a distinção de suas franjas características. Esses pontos serão abordados detalhadamente pelo professor em sala de aula, uma vez que utilizaremos lasers das cores verde e vermelha como fontes monocromáticas nas Atividades 1, 4 e 5, permitindo a observação precisa das variações de intensidade e do comportamento das franjas para diferentes comprimentos de onda.

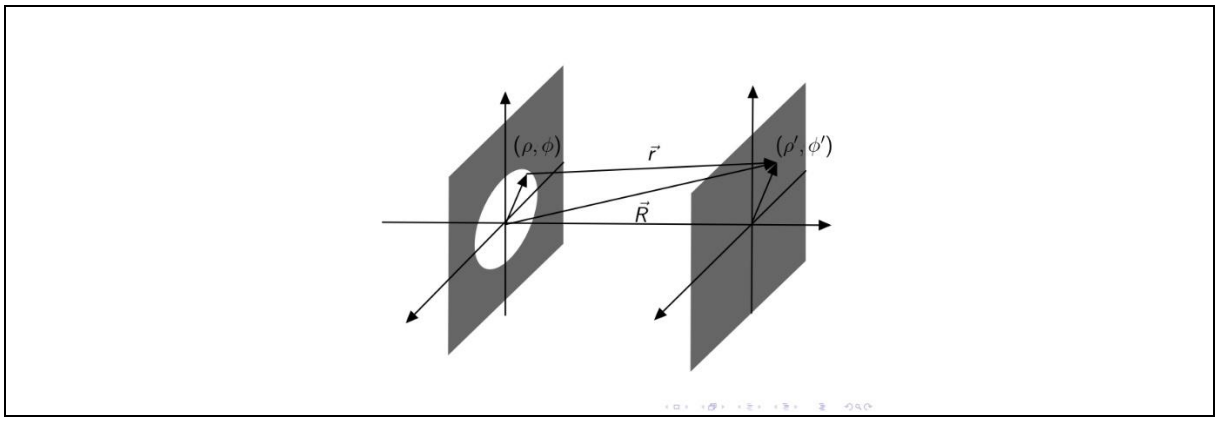
4.3.2 Difração por uma abertura circular

A difração por uma abertura circular destaca-se como uma das aplicações mais fundamentais da difração de Fraunhofer, dada a sua presença em sistemas óticos convencionais. Na prática, instrumentos como telescópios, lunetas, microscópios e binóculos possuem aberturas com essa geometria específica em suas objetivas, o que invariavelmente projeta um padrão de difração característico que limita a resolução dessas ferramentas. Mesmo o olho humano, por possuir uma pupila de formato circular, está sujeito a esse fenômeno físico. Compreender como a luz se comporta ao atravessar tais orifícios é, portanto, essencial para o estudo do desempenho e da

precisão de qualquer sistema que utilize lentes ou aberturas circulares para a formação de imagens.

Ao analisar o fenómeno da difração produzido por uma abertura circular de raio a, a característica mais imediata é a simetria radial em torno do eixo de propagação Oz. Para descrever adequadamente esta geometria, é conveniente abandonar as coordenadas cartesianas e adotar o sistema de coordenadas polares (ρ, ϕ) no plano da abertura (ver Figura 8).

Figura 8 - Difração por uma abertura circular com incidência normal.



Fonte: Física 4, Fundação Cecierj/Consórcio Cederj (2010).

A integral de Fraunhofer para uma abertura circular requer a integração sobre toda a área do círculo de raio a. Utilizando a mudança de variáveis para coordenadas polares e uma onda plana com incidência normal, a integral assume a seguinte forma:

$$\Psi(P) = \frac{e^{ikR}}{i\lambda R} \int_0^{2\pi} d\phi \int_0^a d\rho\, \rho\, A_0 e^{-\frac{ik}{R}(\rho\rho' \cos\phi \cos\phi' + \rho\rho' \sin\phi \sin\phi')}. \qquad (13)$$

Veja que o argumento da função exponencial pode ser reescrito como $-\frac{ik}{R}[\rho\rho' \cos(\phi - \phi')$. Substituindo esta equação na integral da Equação 13, obtemos

$$\Psi(P) = A_0 \frac{e^{ikR}}{i\lambda R} \int_0^{2\pi} d\phi \int_0^a d\rho\, \rho\, e^{-\frac{ik}{R}[\rho\rho' \cos(\phi - \phi')}. \qquad (14)$$

Diferente do caso da fenda retangular, a integral na Equação (14) não pode ser reduzida a funções elementares (senos e cossenos). A resolução dessa integral resulta em uma função especial de Bessel de primeira espécie e ordem 1 (J_1), cujos valores podem ser obtidos em tábuas de integrais. Essa integral é essencial para definir a amplitude do campo, conforme a fórmula a seguir:

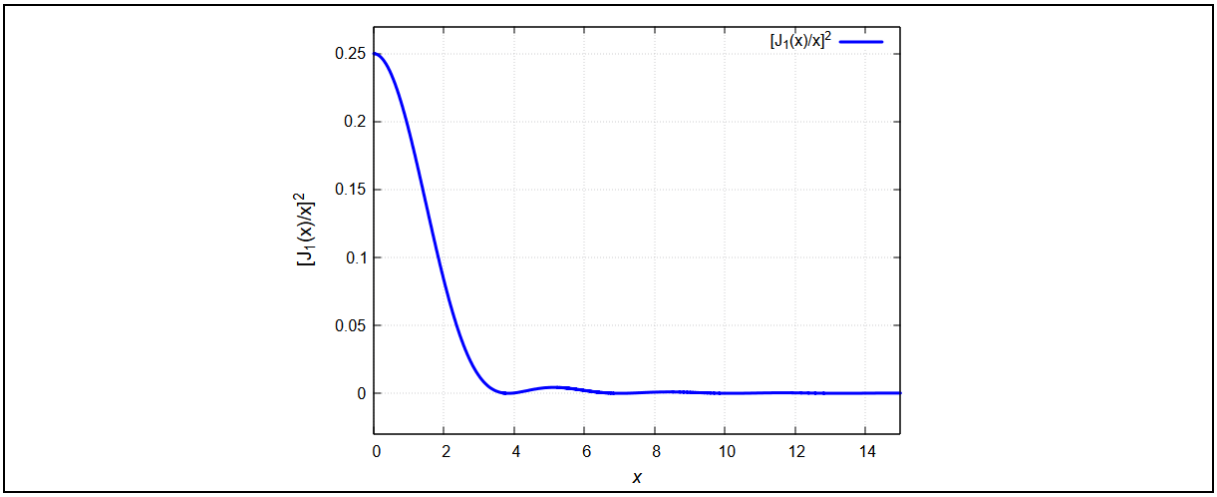
$$\Psi = 2A_0 \frac{e^{ikR}}{i\lambda R} \frac{J_1\left(\frac{ak\rho'}{R}\right)}{\frac{ak\rho'}{R}} \tag{15}$$

Observa-se que a amplitude do campo no ponto P independe da coordenada angular ϕ', o que indica uma simetria radial em torno da origem. Essa característica implica que a intensidade permanece constante ao longo de qualquer circunferência concêntrica no plano de observação. Chega-se, assim, à expressão que descreve o padrão de difração circular:

$$I(P) = 4\frac{A_0^2}{\lambda^2 R^2}\left[\frac{J_1\left(\frac{ak\rho'}{R}\right)}{\frac{ak\rho'}{R}}\right]^2. \tag{16}$$

Verifica-se que a função de Bessel apresenta um comportamento oscilatório análogo ao da função seno, embora não possua um período regular e sua amplitude não seja constante. Visto que a intensidade do padrão de difração por abertura circular é definida por uma função de Bessel dividida pelo seu próprio argumento, nota-se que a amplitude decai de forma ainda mais acentuada. Na Figura 9, ilustra-se esse comportamento por meio do gráfico de $J_1(x)/x$, onde a variável $x = \frac{ak\rho'}{R}$ corresponde ao termo relacionado à distribuição de intensidades $I(P)$.

Figura 9 - Comportamento oscilatório amortecido de $[J_1(x)/x]^2$, característico da intensidade do padrão de difração por abertura circular. A amplitude dos máximos secundários diminui rapidamente com o aumento de x, concentrando a intensidade na região central.



Fonte: Autor (2026)

Nota-se que, embora a função $J_1(x)$ se anule para $x = 0$, a razão $J_1(x)/x$ tende a $1/2$ no limite em que x se aproxima de zero, conforme ilustrado na Figura 9. Dessa forma, verifica-se que a intensidade não é nula para $\rho' = 0$, ponto que corresponde à intersecção do anteparo com o eixo óptico. Pelo contrário, conclui-se, por meio dessa análise gráfica, que a intensidade atinge seu valor máximo justamente nesse ponto central.

Portanto, é possível verificar que a localização dos mínimos de difração para uma abertura circular é determinada pelos zeros da função de Bessel de primeira ordem, $J_1(x) = 0$. Além disso, nota-se que o primeiro mínimo ocorre especificamente quando $x = 3{,}8317$, condição que permite estabelecer a seguinte relação fundamental:

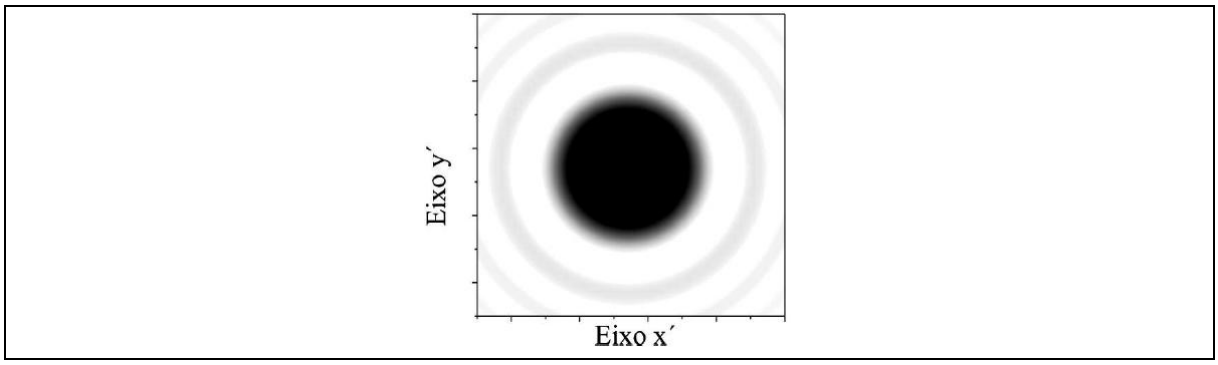
$$x = \frac{ak\rho'}{R} = ka\sin\theta = 3{,}8317$$

$$2a\sin\theta = 1{,}22\lambda \qquad (17)$$

Para a identificação dos mínimos subsequentes, torna-se necessário encontrar os demais zeros de $J_1(x)$, os quais surgem em valores como $x = 7{,}0156$, $x = 10{,}1735$ e

$x = 13{,}3237$. Esses pontos definem a estrutura da distribuição de intensidades do feixe difratado, resultando no padrão característico de anéis escuros observados em torno do disco central.

Figura 10 - Padrão de difração de Fraunhofer para uma abertura circular, evidenciando o disco central de máxima intensidade e os anéis concêntricos secundários.



Fonte: Física 4, Fundação Cecierj (2010)

Nota-se que a difração por uma abertura circular guarda semelhanças com o caso da abertura retangular, embora apresentem diferenças fundamentais quanto ao formato do máximo central e às proporções de intensidade entre as franjas (ver Figura 10). Enquanto na abertura retangular o primeiro máximo secundário detém cerca de 5% da intensidade do pico central, na abertura circular essa relação é de apenas 2%. Essa disparidade quantitativa evidencia um decaimento de energia mais acentuado nas ordens superiores para a geometria circular (Física 4, Fundação Cecierj, 2010).

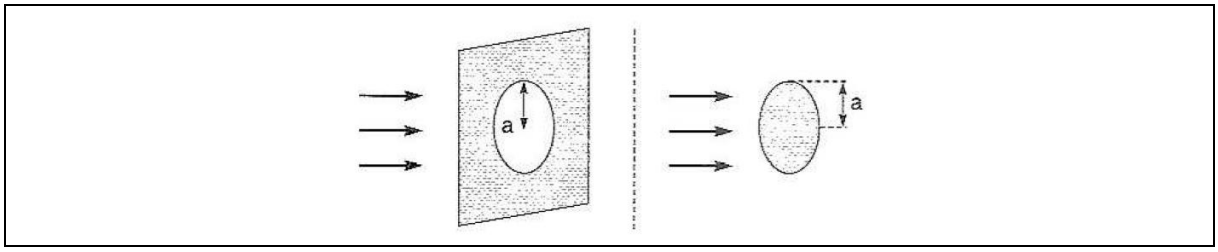
Um outro ponto importante que se destaca é a manifestação desse padrão de intensidade como um círculo central brilhante, conhecido como disco de Airy, circundado por anéis concêntricos de brilho progressivamente menor. Tal resultado possui uma importância grande na óptica instrumental, uma vez que estabelece o limite teórico de resolução (critério de Rayleigh) para sistemas que utilizam aberturas circulares, incluindo telescópios e objetivas fotográficas.

4.3.3 O princípio de Babinet

Em física, o princípio de Babinet estabelece que o padrão de difração produzido por um corpo opaco é idêntico ao de uma abertura de mesmo tamanho e forma, com

exceção da intensidade total do feixe direto. Essa fundamentação foi formulada na década de 1800 pelo físico francês Jacques Babinet. Define-se como complementares dois dispositivos de difração que, ao operarem sobre um mesmo anteparo plano, apresentam configurações invertidas, de modo que a região de abertura em um corresponda exatamente à área opaca no outro. Um exemplo clássico desse conceito reside na comparação entre a difração produzida por uma abertura circular de raio a e aquela gerada por um disco opaco de mesmas dimensões. Matematicamente, ao denotar a porção opaca por S e a abertura por A, a transição entre esses sistemas complementares é descrita pela simples permutação $S \leftrightarrow A$ (ver Figura 10).

Figura 11 - Dispositivos complementares



Fonte: Nussenzveig (1998).

Ademais, ao definir $\Psi_A(P)$ como a função de onda difratada por uma abertura e $\Psi_S(P)$ como aquela proveniente do arranjo complementar, a aproximação de Kirchhoff para o princípio de Huygens-Fresnel demonstra que:

$$\Psi_A(P) + \Psi_S(P) = \Psi_0(P)$$

Isso implica que a soma das ondas difratadas em um ponto P por dois dispositivos complementares equivale à onda incidente em P em regime de propagação livre, ou seja, sem a interposição de anteparos.

Uma consequência fundamental do Princípio de Babinet reside na sua aplicação direta à difração de Fraunhofer. Nesse caso, ao considerar que o ponto P está localizado a uma grande distância em uma direção $\hat{u}$, estabelece-se que $\Psi_0(P) = 0$ para direções diferentes da incidência ($\hat{u} \neq \hat{u}_0$). Isso ocorre porque a contribuição da onda plana incidente restringe-se exclusivamente à sua própria direção de propagação, o que corresponde ao ponto central da figura de difração.

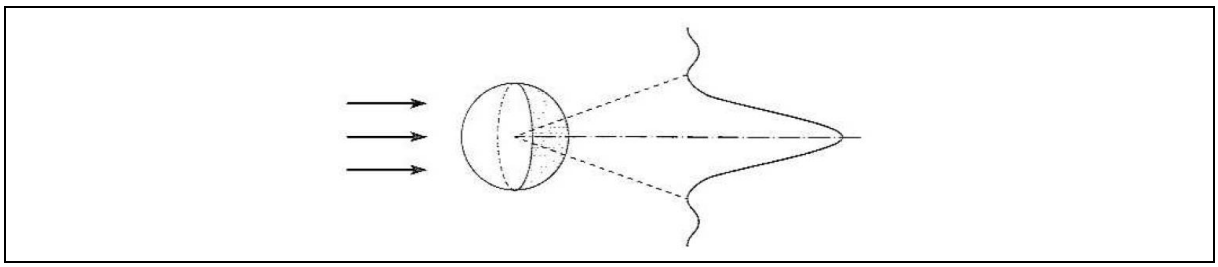
Desta forma, observa-se que a aplicação da condição de Fraunhofer à soma das ondas difratadas resulta em $\Psi_s(P) = -\Psi_A(P)$ para direções fora do eixo central ($\hat{u} \neq \hat{u}_0$). Consequentemente, verifica-se que as intensidades produzidas pelos dispositivos complementares são idênticas, ou seja, $I_S(\hat{u}) = I_A(\hat{u})$. Tal conclusão fundamenta-se na definição de intensidade como o quadrado do módulo da onda difratada ($I = |\Psi(P)|^2$).

Portanto, as figuras de difração de Fraunhofer associadas a dispositivos complementares são idênticas, exceto na direção de propagação. Essa equivalência, fundamentada no Princípio de Babinet, possibilita a observação prática do comportamento da luz de forma acessível, utilizando lasers e obstáculos simples para simular fendas e orifícios.

Experimentalmente, ao posicionar-se um fio fino ou um fio de cabelo (obstáculo opaco) no percurso de um feixe de laser, obtém-se um padrão de franjas idêntico ao de uma fenda estreita. Da mesma forma, pequenas esferas opacas projetam o padrão de anéis concêntricos típico de uma abertura circular. Tais fendas podem ser confeccionadas por meio de impressões em películas transparentes ou riscando-se uma lâmina de vidro previamente defumada.

Essa abordagem facilita o estudo de fenômenos ópticos complexos em sala de aula, demonstrando que obstáculos e aberturas de mesmas dimensões produzem distribuições de intensidade equivalentes.

Figura 12 - O padrão de difração por uma esfera



Fonte: Nussenzveig (2018).

Ainda dentro do domínio de aplicabilidade da aproximação de Kirchhoff, observa-se que o padrão de difração de Fraunhofer de um disco circular de raio a também coincide com aquele associado a uma esfera de raio a, conforme ilustrado na Figura 11. Essa igualdade justifica-se pelo fato de que ambas as geometrias bloqueiam a mesma seção transversal circular da onda incidente.

Logo, uma partícula esférica também produz um pico de difração dianteiro rodeado de anéis concêntricos. Ao longo do eixo de simetria, esse pico é um prolongamento da mancha brilhante de Poisson encontrada na região de Fresnel. Sob essa mesma lógica, as coroas de difração observadas em torno da Lua decorrem da difração provocada por gotículas de água esféricas presentes nas nuvens.

Nesse fenômeno, cada gotícula gera sua própria figura de difração e as intensidades se superpõem, uma vez que se tratam de fontes incoerentes. O diâmetro angular típico dessas coroas corresponde a algumas vezes o diâmetro angular da Lua, que é de aproximadamente $0{,}5°$. Ao considerar $\Delta\theta \approx 3° \approx \frac{1}{20} rad$ e $\lambda \approx 0{,}5\ \mu m$, a Equação 17 demonstra que o raio médio das gotículas é da ordem de uma dezena de micrometros. Além disso, a borda externa avermelhada das coroas confirma a natureza do efeito, visto que, na difração, o comprimento de onda correspondente ao vermelho sofre um desvio mais acentuado que o azul (Nussenzveig, 1998).

4.3.4 O ponto claro de Fresnel

Historicamente, a consolidação da natureza ondulatória da luz encontrou um marco decisivo no concurso promovido pela Academia Francesa de Ciências em 1819. Na ocasião, o cientista Augustin-Jean Fresnel submeteu um trabalho que utilizava o princípio das zonas para explicar o fenômeno da difração. Entretanto, Siméon Denis Poisson, defensor da teoria corpuscular e membro do comitê julgador, apontou o que considerava uma falha lógica na formulação de Fresnel: caso a luz se comportasse como onda, a difração nas bordas de um objeto perfeitamente esférico ou de um disco opaco deveria causar uma convergência de frentes de onda no centro da sombra geométrica. Segundo o raciocínio de Poisson, tal convergência resultaria em um ponto

luminoso central, uma consequência que ele julgava absurda e fisicamente improvável.

Contrariando as expectativas de Poisson, a verificação experimental conduzida pela comissão e liderada por François Arago confirmou a existência do fenômeno, o que conferiu a Fresnel o prêmio do concurso e solidificou a teoria ondulatória. Esse fenômeno, atualmente denominado Ponto Claro de Fresnel, Mancha de Poisson ou Ponto de Arago, manifesta-se no regime de difração de Fresnel e evidencia a interferência construtiva das ondas que contornam o obstáculo. Para a física moderna, a observação desse ponto de luz no centro da sombra de um objeto opaco permanece como uma das demonstrações mais elegantes e contraintuitivas da óptica, servindo como uma evidência empírica robusta contra o modelo puramente retilíneo da propagação luminosa.

4.4 ASPECTOS IMPORTANTES NO ENSINO DE FÍSICA

O conceito de difração é crucial no ensino de Física, não apenas pela sua aplicabilidade em diversos contextos cotidianos, mas também pelo seu papel no desenvolvimento do pensamento científico dos alunos. A partir da observação de fenômenos simples, como a luz contornando obstáculos, tem-se a relação direta com a natureza ondulatória da matéria. Esse conceito não apenas é essencial para o entendimento dos instrumentos ópticos modernos, mas também constitui um pilar para o ensino de Física em níveis básicos e avançados, porque permite a transição entre a óptica geométrica e a física moderna, fundamentando a compreensão de fenômenos que a propagação retilínea da luz não é capaz de explicar.

A difração é um dos conceitos fundamentais da Física, com uma vasta gama de aplicações no cotidiano e nas ciências aplicadas, desde a análise de redes de alta tecnologia até a compreensão de fenômenos naturais como as coroas lunares. As dificuldades encontradas pelos alunos no entendimento da natureza da luz podem ser superadas com uma abordagem didática que enfatize as diferenças entre modelos, a análise de evidências experimentais e a relação entre esses conceitos e as tecnologias que moldam a sociedade. Ao explorar a difração de forma investigativa,

promove-se a percepção de que a ciência não é um corpo de verdades estáticas, mas uma construção humana baseada na interpretação de padrões.

Portanto, o estudo da difração é um terreno fértil para discutir a Natureza da Ciência, permitindo que os estudantes compreendam como o debate e o confronto de ideias são motores do progresso científico. Através da análise de como a luz se comporta ao encontrar fendas ou obstáculos, é possível traçar um paralelo com a própria construção do conhecimento, onde a curiosidade e a experimentação levam à superação de modelos limitados. Esse processo é vital para o entendimento da evolução da ciência, desde as ideias primitivas sobre a propagação corpuscular e retilínea da luz até as concepções contemporâneas da dualidade onda-partícula e da eletrodinâmica quântica.

5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS E DIDÁTICOS

Apresentamos, neste capítulo, os fundamentos metodológicos e didáticos que alicerçam esta pesquisa, detalhando o percurso trilhado para a elaboração da SEI. Estruturamos o texto de modo a contemplar a caracterização dos espaços físicos escolares, o perfil sociocultural dos estudantes do Ensino Médio participantes e a sistematização das etapas que compuseram as atividades intervenção pedagógica.

Identificamos a necessidade de descrever os procedimentos adotados, uma vez que o desenho da SEI visa, primordialmente, criar um ambiente de aprendizagem propício ao desenvolvimento das Práticas Científicas (PC) e Práticas Epistêmicas (PE). Sob a ótica de Sasseron (2018), compreendemos que tais práticas não ocorrem de forma espontânea, mas são mediadas por problemas que desafiam a autonomia do estudante e valorizam sua bagagem intelectual na construção de sentidos sobre o fenômeno da difração da luz.

5.1 O AMBIENTE ESCOLAR E OS ESTUDANTES

5.1.1 A escola

A unidade de ensino onde desenvolvemos a intervenção localiza-se no município de Viana, no estado do Espírito Santo. Caracterizada como uma instituição da rede pública estadual, a escola atende a uma comunidade escolar diversificada, oriunda do bairro e de localidades adjacentes, totalizando aproximadamente 800 estudantes. Identificamos que a instituição oferta a modalidade de Ensino Médio em duas configurações distintas: o turno integral, com jornada de sete horas, e o turno regular.

No que tange à infraestrutura pedagógica, as onze salas de aula existentes possuem capacidade para cerca de quarenta discentes e são equipadas com recursos tecnológicos, como projetores multimídia e sistemas de áudio, além de climatização. Observamos que tais recursos são fundamentais para a mediação didática em tópicos de Óptica Física, pois permitem a projeção de simulações e o registro coletivo de hipóteses. A organização temporal das atividades diferencia-se entre os turnos, sendo

o integral compreendido entre as 7:00 e 14:00, enquanto o regular estende-se das 14:20 às 19:40. Notamos que, no modelo de tempo integral, o período das 14:00 às 14:50 é institucionalmente destinado ao planejamento docente e reuniões de equipe, espaço que consideramos estratégico para a reflexão sobre a prática e o refinamento da SEI.

Sistematizando a relação entre o espaço físico e o potencial investigativo, inferimos que a existência de áreas como o laboratório de ciências/maker e a biblioteca/laboratório de informática constitui um diferencial para a promoção das Práticas Científicas (PC) e Práticas Epistêmicas (PE). A disponibilidade de espaços amplos, incluindo a área externa e as quadras poliesportivas, oferece possibilidades para a realização de experimentos de campo e demonstrações em escala que demandam controle de luminosidade ou distâncias específicas para a observação dos fenômenos de difração.

Compreendemos que essa estrutura física e organizacional estabelece as bases materiais para o protagonismo dos estudantes, fornecendo os subsídios necessários para que a bagagem de vida e a curiosidade intelectual encontrem eco em atividades práticas e teóricas. A descrição pormenorizada desses espaços permite-nos, agora, voltar para os sujeitos que neles interagem, delimitando o perfil dos estudantes do Ensino Médio que protagonizaram a construção dos sentidos físicos durante a aplicação desta SEI.

5.1.2 Os estudantes

O público-alvo desta investigação foi a turma da terceira série do Ensino Médio sob nossa regência, composta por 18 estudantes. Caracterizamos este grupo por uma particularidade pedagógica relevante: a concomitância do ensino propedêutico com a formação técnica na área de informática. Essa dupla jornada de estudos confere aos discentes uma familiaridade prévia com linguagens tecnológicas e processos de resolução de problemas, elementos que corroboram a implementação de atividades investigativas.

5.1.3 Os aspectos éticos da pesquisa

Após a consolidação do delineamento metodológico e a estruturação da SEI, submetemos o protocolo de pesquisa ao Comitê de Ética em Pesquisa do Instituto Federal do Espírito Santo (Ifes), via Plataforma Brasil. Obtivemos o parecer favorável, constante no Anexo B, em 05 de novembro de 2024 (Registro n. 7.207.496), documento que autorizou formalmente o início das atividades de pesquisa. Reiteramos que a participação dos dezoito estudantes ocorreu de forma voluntária, consolidada mediante a assinatura do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), conforme o Apêndice A, e do Termo de Autorização para Utilização de Imagem e Som de Voz (TAI), presente no Apêndice C. No caso dos estudantes menores de dezoito anos, asseguramos a anuência dos responsáveis legais por meio do Termo de Assentimento Livre e Esclarecido (TALE), listado no Apêndice B.

Assumimos o compromisso ético de preservar a integridade e a identidade dos sujeitos, razão pela qual adotamos códigos alfanuméricos para referenciar os estudantes nas análises subsequentes, garantindo o anonimato preconizado pelas normas vigentes. Garantimos, assim, que o tratamento dos dados coletados se restringiu exclusivamente aos objetivos desta investigação, respeitando os princípios de sigilo e confidencialidade. Entendemos que tal rigor ético não é apenas uma exigência normativa, mas uma salvaguarda que valoriza a autonomia e a dignidade dos jovens participantes durante o processo de produção de conhecimento.

Desta forma, a escolha da turma foi fundamentada na natureza da disciplina de Práticas Experimentais de Ciências. Verificamos que o componente curricular em questão possui uma ementa voltada à promoção do saber científico por meio da investigação, o que estabelece uma relação direta com os pressupostos de Carvalho (2018). Assim, essa convergência entre o currículo escolar e a proposta investigativa permitiu que as PC e PE emergissem como uma extensão natural das atividades de sala de aula, e não como um elemento fora da rotina dos estudantes.

Com a base ética estabelecida e a justificativa curricular consolidada, procedemos à descrição detalhada dos instrumentos utilizados para a coleta de dados, os quais

foram planejados para capturar a evolução das PC e PE ao longo do estudo da difração da luz.

5.1.4 Delineamento metodológico

Esta pesquisa caracteriza-se como um estudo de natureza qualitativa, delineada sob os pressupostos da pesquisa do tipo intervenção pedagógica. Compreendemos o termo intervenção como a implementação de práticas educacionais estruturadas, em que assumimos um papel ativo e intencional no processo de ensino e aprendizagem. Tais interferências devem ser rigorosamente planejadas e fundamentadas em referenciais teóricos, visando trazer contribuições efetivas para a prática educativa (Damiani, 2012). Do ponto de vista metodológico, o foco central reside na análise e na reflexão sistemática da própria prática docente, sustentando-se nos dados gerados ao longo da aplicação da proposta (Damiani et al., 2013).

Conforme apontam Damiani et al. (2013), pesquisas dessa natureza estruturam-se a partir de dois componentes constitutivos: o método da intervenção e o método de avaliação da intervenção. Neste estudo, esses componentes assumem a seguinte configuração: (i) o método da intervenção corresponde à elaboração e à implementação de uma Sequência de Ensino Investigativa (SEI) sobre difração da luz, ancorada na abordagem do Ensino por Investigação (Carvalho, 2018; Sasseron, 2018); e (ii) o método de avaliação da intervenção consiste na análise das interações discursivas estabelecidas entre o professor-pesquisador e os estudantes ao longo do desenvolvimento da SEI, com vistas a caracterizar as práticas epistêmicas e científicas mobilizadas e a analisar suas articulações com a construção de sentidos físicos sobre o fenômeno. Essa configuração metodológica está em consonância com pesquisas recentes que adotam o mesmo referencial para investigar processos educativos pautados no Ensino por Investigação (Bodevan; Coelho, 2023).

A escolha pela abordagem qualitativa justifica-se pela natureza da pergunta-problema, que demanda a compreensão de processos discursivos e a interpretação dos sentidos produzidos pelos estudantes em contexto situado. Pesquisas dessa natureza não buscam generalizações estatísticas, mas a compreensão aprofundada de fenômenos educativos em sua complexidade, considerando o caráter interacional, contextual,

intertextual e consequencial das práticas mobilizadas em sala de aula (Kelly; Licona, 2018).

Ao longo de toda a aplicação da SEI, registramos as etapas desenvolvidas com o intuito de caracterizar as práticas epistêmicas e científicas mobilizadas pelos estudantes. Essa documentação sistemática permitiu diagnosticar pontos passíveis de aprimoramento, garantindo que a pesquisa respeitasse os princípios metodológicos de uma intervenção pedagógica ao basear qualquer ajuste nas evidências dos dados coletados, em consonância com a perspectiva de Damiani et al. (2013), para quem a pesquisa do tipo intervenção mantém o foco na prática pedagógica e em sua análise por meio dos próprios dados gerados durante a intervenção.

5.1.5 Produção, tratamento e análise dos dados

Estruturamos a Sequência de Ensino Investigativa (SEI) em torno do fenômeno da difração da luz, organizada em seis momentos pedagógicos distintos. Esses momentos foram concebidos de modo a articular a observação fenomenológica, a simulação computacional e a prática experimental quantitativa, em consonância com a abordagem do Ensino por Investigação (Carvalho, 2018; Sasseron, 2018) e com a intenção de criar condições para a mobilização das práticas epistêmicas e científicas que sustentam o objetivo geral desta pesquisa. A distribuição das atividades ocorreu em 11 (onze) aulas de 50 minutos, sendo que, em etapas específicas da investigação, as intervenções demandaram aulas geminadas para a plena execução dos ciclos investigativos.

Selecionamos a sala de aula como ambiente primordial para a produção de dados, uma vez que a proposta experimental exigia o controle rigoroso da luminosidade, condição indispensável para a observação dos padrões de difração que constituem o fenômeno em estudo. Verificamos que o laboratório de ciências, embora equipado, possuía janelas transparentes que inviabilizavam o contraste necessário para a observação nítida dos padrões de difração, ao passo que a sala de aula, provida de películas de controle solar (insulfilm), permitiu o escurecimento adequado para a mediação do fenômeno. Essa escolha de espaço, portanto, não foi meramente

operacional, mas teórica: estava em jogo a viabilidade de que os estudantes pudessem efetivamente observar o fenômeno e, a partir dele, construir sentidos físicos sobre a difração da luz.

Para a constituição do corpus desta pesquisa, e em consonância com a orientação metodológica de Damiani et al. (2013) de que os dados em pesquisas do tipo intervenção devem ser gerados pela própria intervenção, coletamos dados de forma contínua durante as atividades pedagógicas, utilizando múltiplos instrumentos de registro. Empregamos a gravação de áudio das discussões em grupo, registros fotográficos e o recolhimento de produções escritas, como questionários e roteiros de orientação investigativa. Observamos que tais instrumentos não atuaram meramente como repositórios de respostas, mas como guias estruturantes que alinharam as discussões dos estudantes às práticas epistêmicas e científicas. Para a viabilização técnica desta coleta, utilizamos três gravadores de áudio, resultando em um acervo de quatorze arquivos sonoros e vinte e cinco formulários (conforme detalhado nos Apêndices D, E, F, G, H e I), os quais foram submetidos a um tratamento sistemático na etapa de análise.

A combinação desses instrumentos foi planejada para permitir o acesso a dois tipos complementares de dados: os registros orais, que dão acesso às interações discursivas e ao processo dinâmico de construção colaborativa de sentidos; e os registros escritos, que evidenciam o produto final do raciocínio dos grupos e permitem a comparação entre o que foi discutido e o que foi sistematizado. As falas dos participantes foram identificadas por códigos (A-02, A-03, A-10 e assim por diante) a fim de preservar suas identidades, conforme os procedimentos éticos cumpridos no início da pesquisa.

No que concerne ao tratamento dos dados, procedemos à transcrição integral dos áudios gerados durante as atividades, etapa que constitui, segundo Damiani et al. (2013), procedimento fundamental para a produção do corpus em pesquisas do tipo intervenção pedagógica. Aplicamos, em seguida, filtros para eliminar interações alheias ao escopo da pesquisa ou ao conteúdo de Física estudado. Após a triagem dos trechos pertinentes, analisamos as interações discursivas para caracterizar episódios em que os estudantes mobilizaram práticas epistêmicas e científicas

durante o desenvolvimento das atividades investigativas. De forma complementar, tabulamos as respostas dos questionários para averiguar o desempenho conceitual e as conclusões elaboradas pelos grupos.

Para o tratamento analítico do corpus, recorremos ao quadro de práticas epistêmicas e científicas sistematizado por Bodevan e Coelho (2023), apoiado em Sasseron (2018), Sasseron e Silva (2021) e Kelly e Licona (2018). Esse quadro contempla as práticas epistêmicas de proposição (PE1), comunicação (PE2), avaliação (PE3) e legitimação (PE4) de ideias, bem como as práticas científicas de trabalho com novas informações (PC1), levantamento e teste de hipóteses (PC2) e construção de explicações e elaboração de justificativas (PC3). A análise consistiu em interpretar, à luz desse referencial, as interações discursivas dos estudantes ao longo das atividades da SEI, caracterizando as práticas mobilizadas e analisando como elas se articulam à construção dos sentidos físicos sobre a difração da luz, em atendimento aos objetivos específicos da pesquisa.

Portanto, a integração entre os registros orais e escritos possibilitou uma visão abrangente da construção dos sentidos físicos pelos estudantes, evidenciando que a mediação docente, ao provocar reações intelectuais por meio de questionamentos intencionais, mobilizou práticas epistêmicas e científicas que se articularam à construção desses sentidos físicos.

Cabe ressaltar que, durante o percurso de desenvolvimento desta pesquisa, utilizamos ferramentas de Inteligência Artificial como recursos de apoio tecnológico. Restringimos seu emprego ao auxílio na revisão gramatical, na adequação ortográfica e no refinamento da formatação do texto final, bem como na organização estrutural de ideias.

Durante o processo, utilizamos o Gemini para a criação de figuras artísticas presentes na atividade de leitura de texto e para a revisão ortográfica do trabalho. Já para a tabulação de dados, utilizamos o NotebookLM como auxílio na transcrição, a fim de agilizar o trabalho de digitação dos áudios; vale ressaltar, contudo, que essa ferramenta serviu apenas para agilizar a escrita, e que ouvimos todos os áudios e revisamos as transcrições para garantir a fidelidade dos dados.

Ressaltamos que a concepção intelectual, a análise dos dados empíricos e as reflexões pedagógicas presentes neste trabalho são de nossa autoria exclusiva e de nosso orientador.

5.2 A SEQUÊNCIA DE ENSINO POR INVESTIGAÇÃO

Para fundamentar a elaboração das atividades da Sequência de Ensino Investigativa (SEI), apropriamo-nos dos referenciais teóricos de Carvalho (2011, 2013, 2018), Sasseron (2018), Bodevan e Coelho (2023) e Freire e Silva (2024). Tais autores ressaltam a centralidade da problematização e o papel da mediação docente ao longo da intervenção, elementos que consideramos cruciais para o sucesso da proposta. Estruturamos a SEI em seis momentos distintos, sendo que, no planejamento de cada etapa, buscamos o desenvolvimento de atividades capazes de promover a aproximação entre as culturas escolar e científica (Munford; Lima, 2007) por meio do engajamento investigativo e da valorização da bagagem de vida dos estudantes do Ensino Médio.

Apresentamos, no Quadro 5, a síntese das atividades desenvolvidas, detalhando a articulação entre os objetivos conceituais (conteúdos de Física sobre difração) e os objetivos epistêmicos e científicos (práticas de investigação). O referido quadro descreve a situação-problema que norteia cada etapa e a dinâmica das atividades, evidenciando como a mediação e a interação entre os pares sustentam o processo de aprendizagem e a construção de novos sentidos físicos.

Quadro 5 - Resumo das atividades desenvolvidas na Sequência de Ensino Investigativa (SEI): Objetivos conceituais, epistêmicos e científicos, situação-problema e dinâmica da atividade.

MOMENTO DA SEI E Nº DE AULAS	**OBJETIVOS CONCEITUAIS E OBJETIVOS EPISTÊMICOS E CIENTÍFICOS**	**SITUAÇÃO-PROBLEMA**
Atividade 1 (50 min)	Objetivos conceituais: 1- Compreender o fenômeno de difração da luz. 2- Reconhecer a importância do ponto claro de Fresnel na difração de ondas. 3- Compreender o papel das aberturas ou obstáculos na formação de padrões de difração.	Qual será a forma da sombra projetada por uma bolinha de gude quando uma lanterna ligada for direcionada a ela? Qual será a forma da sombra projetada por uma esfera de

	4- Compreender as propriedades do ponto claro de Fresnel em relação ao tamanho da abertura e à distância de observação. Objetivos epistêmicos: 1- Desenvolver habilidades de observação precisa e sistemática. 2- Desenvolver habilidades de registro e organização de dados experimentais. 3- Desenvolver habilidades de análise crítica dos resultados e identificação de padrões. 4- Promover o questionamento científico e a formulação de hipóteses para explicar os fenômenos observados. Objetivos científicos: 1- Investigar a influência do tamanho da abertura na formação do ponto claro de Fresnel. 2- Investigar a influência da distância de observação na formação do ponto claro de Fresnel. 3- Verificar a relação entre a distância de observação e as características do ponto claro de Fresnel.	ponta de caneta quando um laser ligado for direcionado a ela?
Atividade 2 (100 min)	Objetivos conceituais: 1- Compreender os princípios fundamentais do comportamento ondulatório da luz. 2- Familiarizar-se com as teorias históricas que contribuíram para o desenvolvimento da compreensão sobre a natureza ondulatória da luz. 3- Identificar os principais experimentos e descobertas que ajudaram a estabelecer o comportamento ondulatório da luz. 4- Compreender o papel da luz como uma onda eletromagnética e sua relação com outros fenômenos ondulatórios. Objetivos epistêmicos: 1- Desenvolver habilidades de leitura crítica de textos científicos históricos. 2- Analisar as evidências e argumentos apresentados no texto para sustentar a natureza ondulatória da luz. 3- Refletir sobre as mudanças de paradigma científico ao longo do tempo e como as teorias evoluem com novas evidências. 4- Promover o pensamento crítico e a capacidade de questionar as informações apresentadas no texto. Objetivos científicos: 1- Explorar a influência de cientistas históricos, como Thomas Young ou Augustin-Jean Fresnel, no estabelecimento do comportamento ondulatório da luz.	Como podemos explicar o comportamento da luz ao atingir ou passar por obstáculos muito pequenos?

	2- Compreender as limitações dos modelos ondulatórios da luz e sua relação com outros modelos, como o modelo corpuscular.	
Atividade 3 (100 min)	Objetivos conceituais: 1- Compreender o fenômeno de difração da luz e o conceito de ponto claro de Fresnel. 2- Familiarizar-se com as propriedades da difração da luz em aberturas e obstáculos. 3- Entender a relação entre o tamanho da abertura e a formação do ponto claro de Fresnel. 4- Compreender o efeito da distância de observação na visualização do ponto claro de Fresnel. Objetivos epistêmicos: Desenvolver habilidades de exploração e interação com simulações computacionais. Analisar e interpretar os resultados obtidos na simulação, identificando padrões e relações entre as variáveis. Refletir sobre a importância da utilização de simulações computacionais como ferramentas para a investigação científica. Promover a capacidade de fazer perguntas e formular hipóteses a partir das observações realizadas na simulação. Objetivos científicos: 1- Investigar a influência do tamanho da abertura na formação do ponto claro de Fresnel, utilizando diferentes configurações na simulação. 2- Explorar a relação entre a distância de observação e a visibilidade do ponto claro de Fresnel na simulação.	Como a figura projetada no anteparo se comporta se aumentarmos o diâmetro do orifício da máscara? Como a figura projetada no anteparo se comporta se aumentarmos ou diminuímos o comprimento de onda do laser? Como a figura projetada no anteparo se comporta se mudarmos o formato do orifício para diferentes formas?
Atividade 4 (150 min)	Objetivos conceituais: 1- Compreender o fenômeno da difração da luz. 2- Reconhecer a relação entre a difração e a propagação de ondas. 3- Familiarizar-se com os princípios da óptica e sua aplicação na mensuração de objetos microscópicos. 4- Compreender o uso do fenômeno de difração para determinar dimensões de objetos Objetivos epistêmicos: 1- Desenvolver habilidades práticas de experimentação e manipulação de equipamentos ópticos. 2- Coletar dados experimentais com precisão e exatidão. 3- Analisar e interpretar os resultados obtidos na experimentação.	Como usar o fenômeno da difração para medir a espessura de um fio de cabelo?

	4- Desenvolver habilidades de registro e documentação das etapas experimentais Objetivos científicos: 1- Utilizar o fenômeno de difração da luz para estimar a espessura de um fio de cabelo. 2- Investigar a relação entre a largura da abertura utilizada e a difração observada. 3- Verificar a relação entre a distância de observação e a intensidade do padrão de difração. 4- Comparar os resultados experimentais com os valores conhecidos da espessura do fio de cabelo.	
Atividade 5 (100 min)	Objetivos conceituais: 1- Compreender o princípio do fenômeno de difração. 2- Reconhecer a relação entre a difração e a propagação de ondas. 3- Familiarizar-se com os conceitos de comprimento de onda e espectro eletromagnético. 4- Compreender a relação entre a geometria da rede de difração e a formação de padrões de difração. Objetivos epistêmicos: Desenvolver habilidades práticas de experimentação e manipulação de equipamentos ópticos. Coletar dados experimentais de maneira precisa e sistemática. Analisar e interpretar os padrões de difração obtidos para determinar o comprimento de onda do laser. Refletir sobre as fontes de erro experimentais e discutir maneiras de minimizá-las. Objetivos científicos: 1- Utilizar a rede de difração para medir o comprimento de onda de um laser. 2- Investigar a relação entre o espaçamento das fendas da rede de difração e o padrão de difração observado. 3- Verificar a influência da distância entre a rede de difração e a tela de observação nos padrões de difração. 4- Comparar os resultados experimentais com os valores conhecidos do comprimento de onda do laser utilizado.	Como usar o fenômeno de difração para medir o comprimento de onda da luz emitida por um laser utilizando o padrão de difração produzido ao incidir em um fio de cabelo?
Atividade 6 (50 min)	Objetivos conceituais: 1- Demonstrar compreensão do fenômeno de difração da luz. 2- Explicar os princípios básicos da difração e sua relação com a propagação de ondas. 3- Descrever as características do ponto claro de Fresnel e sua formação em aberturas ou obstáculos.	Examinar imagens com distintos padrões de difração provocados por aberturas de diferentes formatos e reconhecer qual tipo de abertura origina cada padrão observado.

Objetivos epistêmicos: 1- Aplicar corretamente os conceitos e termos relacionados à difração da luz em suas respostas. 2- Expressar o raciocínio e o pensamento crítico ao discutir as propriedades e os efeitos da difração. 3- Justificar suas respostas e argumentar com base em evidências experimentais e teóricas apresentadas ao longo das atividades. 4- Demonstrar capacidade de síntese e organização das informações sobre difração da luz. Objetivos científicos: Analisar criticamente a importância da difração da luz em diversas áreas da ciência e tecnologia. Avaliar a validade e a precisão dos resultados obtidos nas atividades experimentais e simulações computacionais. Identificar possíveis limitações das teorias e modelos utilizados para explicar a difração da luz. Relacionar a difração da luz com aplicações práticas, como em tecnologias ópticas e instrumentos de medição.

Fonte: Autor (2026).

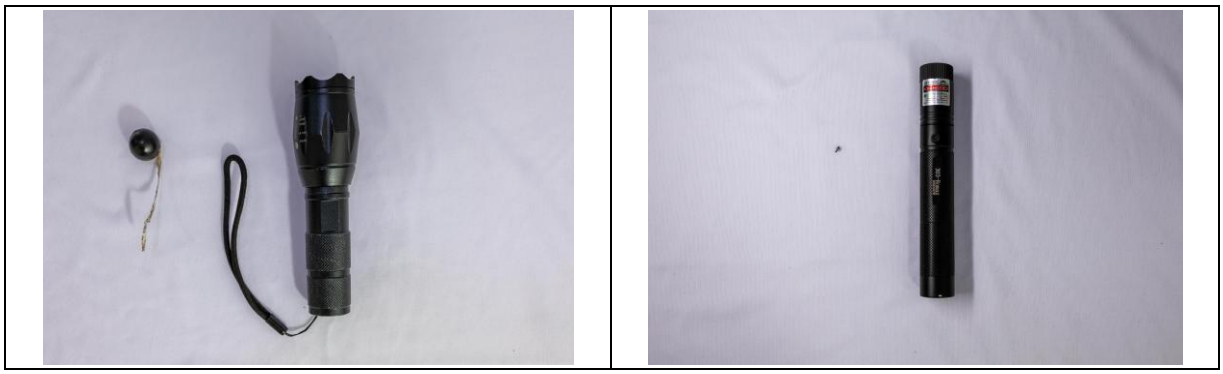
Portanto, a estruturação cronológica e temática da SEI reflete a intenção de transformar a sala de aula em um espaço de investigação, onde as reações intelectuais dos estudantes são provocadas por desafios que exigem autonomia e colaboração. Inferimos que essa organização curricular é o que permite a emergência de PC e PE em cada fase da SEI. Para aprofundar a compreensão sobre a materialidade desta intervenção, detalharemos, nas seções subsequentes, as nuances de cada atividade pedagógico sob a perspectiva de nossas narrativas e registros docentes.

5.2.1 Atividade 1 - Explorando sombras: uma atividade investigativa

Iniciamos a Atividade 1 com a organização dos estudantes em grupo, estrutura que mantivemos ao longo de toda a Sequência de Ensino Investigativa (SEI) com o propósito de favorecer a troca de significados entre os participantes. Após a divisão dos grupos, entregamos o questionário e apresentamos os materiais disponíveis:

suportes universais, lanternas, ponteiros laser de cor verde, uma esfera de vidro (bola de gude) recoberta por pigmento negro e uma esfera metálica de pequenas dimensões (ver Figura 13). Identificamos que a apresentação física dos objetos, realizada previamente à execução das tarefas, revelou-se fundamental para que os discentes mobilizassem seus conhecimentos prévios acerca dos fenômenos de sombra e luz. A atividade foi estruturada para ocorrer ao longo de uma aula.

Figura 13 - À esquerda, uma lanterna e uma bola de gude; à direita, um laser verde e uma microesfera metálica.



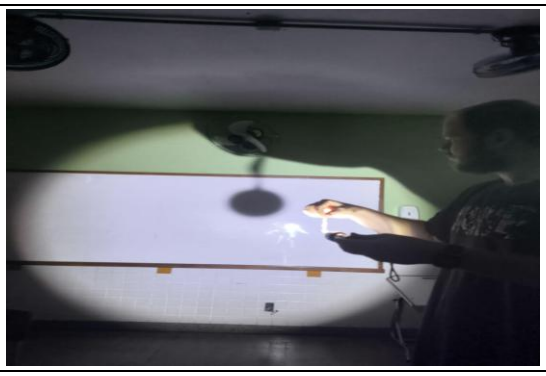
Fonte: Autor (2026).

Após a apresentação dos materiais, questionamos os grupos sobre as consequências de iluminar a esfera opaca com a lanterna e as características da sombra projetada. Verificamos que, ao permitirmos o manuseio dos objetos, os estudantes iniciaram um processo de análise tátil e visual que auxiliou na discussão e no levantamento de hipóteses. Durante esse período, circulamos entre os grupos para mediar as dúvidas, enfatizando a importância de sistematizar as previsões antes da realização do teste experimental. Notamos que a antecipação intelectual é um passo crucial para a emersão de PC e PE, pois exige que o estudante explicite seu modelo mental.

Após a consolidação das hipóteses pelos grupos, realizamos a demonstração experimental com as luzes apagadas para melhorar o contraste. Os estudantes observaram a sombra geométrica projetada pela bola de gude (Figura 14), oportunidade na qual analisaram se o resultado empírico corroborava suas previsões iniciais. Notamos que este processo de validação ou reformulação permitiu que os discentes reavaliassem suas concepções com base em dados observacionais, exercitando a autonomia intelectual.

Na etapa subsequente, inserimos uma nova variável ao problema, questionando sobre o comportamento da luz ao substituirmos a lanterna por um laser e a bola de gude pela pequena esfera metálica. Após as devidas orientações de segurança quanto ao manuseio do feixe de luz, fornecemos os novos aparatos para observação. Assim, evidenciamos que o surgimento de dúvidas sobre a natureza do material da esfera e a colimação do feixe do laser indicou um refinamento na percepção dos estudantes, que passaram a considerar novos dados para a construção de hipóteses mais complexas.

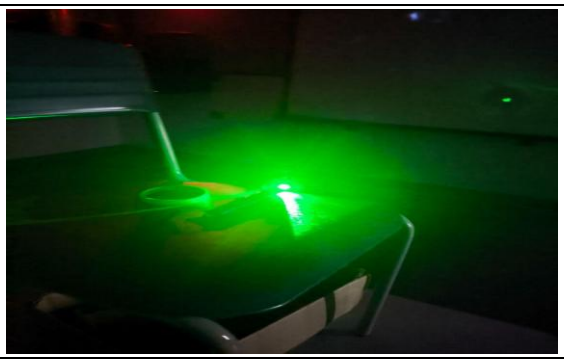
Figura 14 - Demonstração experimental da projeção da sombra de uma esfera (bola de gude) sob iluminação de lanterna em ambiente obscurecido.



Fonte: Autor (2026).

Ao atingirem novas conclusões, executamos a montagem experimental fixando o laser e a esfera metálica de modo que o feixe incidisse precisamente no centro do objeto. Identificamos que a visualização do ponto luminoso no centro da sombra (o ponto claro de Fresnel ou ponto de Arago), conforme ilustrado na Figura 15, provocou um estado de surpresa. Esse fenômeno desencadeou um novo debate nos grupos, que se viram compelidos a ajustar suas hipóteses para integrar o dado novo observado.

Figura 15 - Visualização do Ponto de Fresnel projetado no quadro após o alinhamento preciso do feixe de laser com o centro da pequena esfera.



Fonte: Autor (2026).

Finalizamos este primeiro momento com uma breve sistematização expositiva sobre o ponto de Fresnel e o conceito preliminar de difração. Corroboramos que o objetivo central não era a entrega imediata de definições prontas, mas o despertar da curiosidade científica e o reconhecimento da difração como um fenômeno que desafia a propagação retilínea da luz.

Portanto, a mediação docente durante esta aula inicial funcionou como um suporte para que as reações intelectuais dos estudantes evoluíssem da observação passiva para a investigação ativa. Verificamos que o conflito gerado pela observação do ponto claro de Fresnel atuou como o motor epistêmico para as discussões que fundamentarão as etapas teóricas detalhadas no próximo momento desta sequência.

5.2.2 Atividade 2 – Texto investigativo sobre o comportamento ondulatório da luz

Iniciamos a Atividade 2 da SEI com a organização dos estudantes nos mesmos grupos colaborativos constituídos na atividade anterior, procedimento adotado com o intuito de preservar a dinâmica de trocas interpessoais já estabelecida. Apresentamos, então, o texto de apoio intitulado “Uma breve História da Luz: Algumas ideias relevantes na evolução das teorias ópticas até Fresnel (1819)”, conforme consta no Apêndice E, e conduzimos a leitura mediada do material (Figura 16). A atividade foi estruturada em duas aulas articuladas: a primeira destinada à imersão textual e a segunda voltada à resolução de um questionário.

Figura 16 - Organização dos estudantes em grupos para a leitura compartilhada e discussão do texto investigativo sobre a evolução científica e tecnológica.



Fonte: Autor (2026).

Concluída a leitura, aplicamos o instrumento de coleta que indagava os estudantes sobre a relação intrínseca entre a evolução científica e o desenvolvimento tecnológico. Orientamos os grupos a discutirem as questões propostas, incentivando o diálogo como via para a construção de consensos e para a sistematização de conclusões coletivas. Durante o decurso da aula, circulamos entre as equipes para sanar dúvidas e, primordialmente, levantar questionamentos que estimulassem a reflexão sobre a natureza provisória e evolutiva do conhecimento científico. Com isso, evidenciamos a necessidade de analisar teorias históricas sob a luz de novas tecnologias, fomentando uma visão não linear da ciência.

Identificamos que os grupos analisaram cada questão mobilizando tanto as informações contidas no texto quanto exemplos significativos oriundos de suas realidades cotidianas. Notamos que o surgimento de dúvidas e dificuldades durante a atividade atuou como um catalisador para a mediação docente; em vez de fornecermos respostas prontas, encaminhamos os estudantes à reflexão por meio de exemplos, induzindo-os ao exercício da argumentação. Dessa forma, reconhecemos que esse processo é essencial para que os estudantes compreendam a ciência como uma construção humana, permeada por contextos sociais e tecnológicos.

Portanto, a mediação docente nesta fase de fundamentação histórica permitiu que as reações intelectuais dos estudantes transcendessem a mera interpretação de texto, evoluindo para uma análise crítica sobre como novos dados empíricos demandam novas teorias. Verificamos que o engajamento dos estudantes na discussão sobre a evolução das ideias sobre a natureza da luz preparou o terreno para o retorno à

experimentação, que detalharemos a seguir ao descrevermos o uso de simulações computacionais.

5.2.3 Atividade 3 - Simulação computacional do comportamento ondulatório da luz

Iniciamos a atividade orientando os estudantes a se organizarem em seus respectivos grupos colaborativos, procedendo à distribuição de *chromebooks* e do roteiro de simulação computacional investigativo. Com os estudantes em posse dos recursos tecnológicos, apresentamos a plataforma PhET de simulações interativas, da Universidade do Colorado, via projeção em tela, fornecendo as instruções de acesso ao simulador “Interferência de Ondas” (Figura 17, à esquerda) e as diretrizes básicas para sua operabilidade. Estruturamos esta intervenção para ocorrer em dois tempos de aula, garantindo o tempo necessário para a exploração simulação interativa.

Orientamos os estudantes quanto ao posicionamento das ferramentas virtuais e à manipulação das variáveis físicas disponíveis na interface. Enfatizamos a importância do rigor no acompanhamento do roteiro, uma vez que a metodologia investigativa exige que os sujeitos proponham hipóteses e previsões antes da execução de cada etapa da simulação. Identificamos que essa exigência é fundamental para que o simulador não seja utilizado apenas como uma ferramenta lúdica, mas como um laboratório de teste de modelos mentais.

Seguindo essa orientação inicial, os grupos deram início às atividades de investigação (Figura 17, à direita). Durante o processo, circulamos entre as equipes para sanar dúvidas e reforçar o caráter preditivo da tarefa, instigando os estudantes a justificarem suas escolhas antes de alterarem parâmetros como o comprimento de onda ou a largura da fenda. Verificamos que o ambiente virtual permitiu aos estudantes elaborarem hipóteses complexas sobre o comportamento ondulatório da luz, testando e revisando suas proposições em tempo real à medida que os padrões de difração emergiam na tela.

Figura 17 - À esquerda: interface do simulador PhET “Interferência de onda”, evidenciando o comportamento ondulatório da luz. À direita: registro dos estudantes interagindo com o simulador PhET Colorado.



Fonte: Autor (2026).

Notamos que a interação com a simulação interativa gerou questionamentos significativos sobre a fidedignidade entre a simulação e a realidade fenomenológica. Demonstramos, por meio de intervenções dialógicas, que os simuladores são construções teóricas baseadas em modelos matemáticos da realidade, permitindo a observação de fenômenos cujas escalas de tempo e espaço seriam de difícil reprodução no contexto escolar comum. Inferimos que essa compreensão valoriza a autonomia intelectual dos estudantes, que passam a perceber a simulação como uma ferramenta de investigação científica e não apenas uma animação digital.

Encerramos este momento auxiliando as discussões finais dos grupos, nas quais sistematizamos que a geometria do obstáculo influencia diretamente na forma do padrão de difração. Além disso, destacamos que parâmetros como o comprimento de onda e as dimensões da fenda determinam o espaçamento entre as franjas claras e escuras observadas.

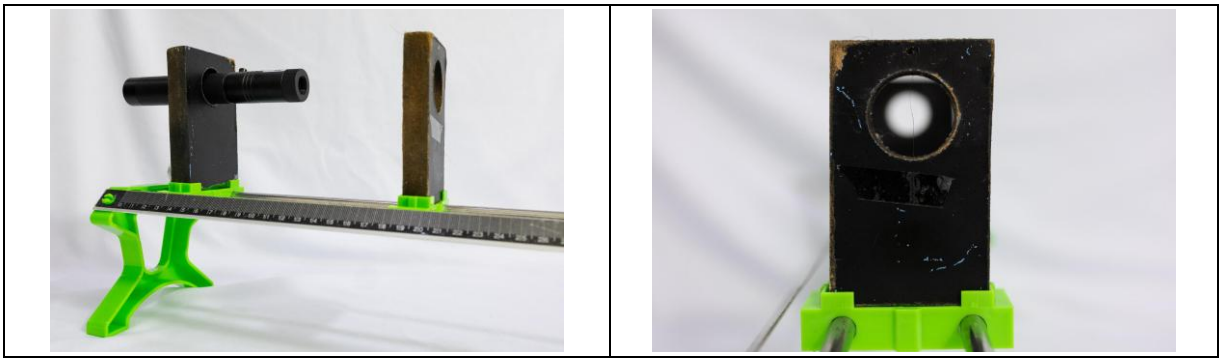
Portanto, a mediação docente durante a atividade computacional atuou como suporte para que os significados compartilhados (Kelly, 2008) dos estudantes se aproximassem da modelagem científica, permitindo-lhes visualizar a natureza ondulatória da luz em um nível de abstração que as práticas puramente manuais dificultariam. Ademais, verificamos que a familiaridade técnica dos estudantes com interfaces digitais potencializou a fluidez da investigação, preparando-os para as etapas de formalização matemática e síntese conceitual que apresentaremos a seguir.

5.2.4 Atividade 4 - Laboratório aberto: Mensurando a espessura do fio de cabelo

Para a condução desta atividade prática, apresentamos aos estudantes os materiais necessários à execução do experimento (Figura 18), compostos por um laser de cor verde, suportes para alinhamento óptico, fita adesiva, réguas e trenas. A atividade foi estruturada ao longo de três aulas: as duas primeiras destinadas ao conhecimento do arranjo experimental e à realização da coleta de dados, e a terceira voltada aos cálculos matemáticos.

Apresentamos, então, o desafio de mensurar a espessura de um fio de cabelo utilizando o conhecimento científico, visto que tal dimensão não poderia ser aferida diretamente com as ferramentas convencionais à disposição. Ademais, orientamos os grupos quanto à montagem do arranjo, enfatizando que o feixe do laser deveria incidir perpendicularmente sobre o obstáculo (o fio de cabelo) e sobre o anteparo, procedimento necessário para garantir a precisão geométrica do padrão projetado.

Figura 18 - Detalhes da montagem experimental: à esquerda, a base de suporte (trilho) para os componentes; à direita, o dispositivo de fixação do obstáculo (fio de cabelo) para a incidência do laser.



Fonte: Autor (2026).

Os estudantes iniciaram a montagem e a coleta de dados, momento em que circulamos entre as equipes para mediar dúvidas sobre as medidas fundamentais. Nesse sentido, auxiliamos os estudantes no desenvolvimento de técnicas de medição, como a marcação dos pontos de máximo e mínimo no anteparo para posterior aferição com a luz desligada, reduzindo o incômodo visual e aumentando a confiabilidade dos registros. Após a etapa de coleta, organizamos as medidas em uma planilha eletrônica

e construímos um gráfico para determinar o coeficiente angular da reta, elemento essencial para determinar a espessura do fio de cabelo. No entanto, identificamos que os dados de um dos grupos apresentavam discrepâncias significativas em relação ao padrão observado. Assim, fomentamos uma discussão sobre a natureza da incerteza experimental e a importância de várias medidas para a identificação de medidas que possam comprometer a validade do resultado.

Com as informações gráficas disponíveis, indagamos os estudantes sobre quais variáveis físicas, ao serem modificadas, alterariam o padrão de difração observado. Outrossim, buscamos direcioná-los a questionar como as grandezas identificadas poderiam ser articuladas para o cálculo da espessura do fio. À medida que os estudantes propunham possíveis variáveis, mediamos o diálogo de modo que os colegas validassem ou refutassem os argumentos apresentados. Como resultado, inferimos a partir do compartilhamento de significados que as grandezas preponderantes neste fenômeno seriam a dimensão do obstáculo e o comprimento de onda da fonte luminosa, informação que fornecemos aos grupos com base nas especificações do fabricante (ver Figura 19).

Figura 19 - Estudantes manipulando os materiais empregados na montagem do arranjo experimental para medição da espessura do fio de cabelo por difração de laser



Fonte: Autor (2026).

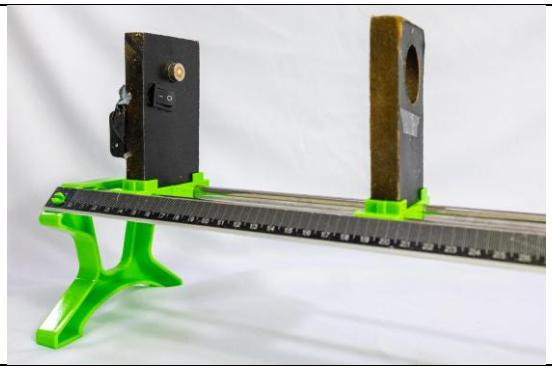
Tendo em posse as grandezas necessárias, orientamos a discussão para que os estudantes deduzissem as operações matemáticas pertinentes. Para tanto, buscamos relacionar a atividade computacional realizada anteriormente com a prática experimental corrente, permitindo que os estudantes compreendessem a proporcionalidade entre as grandezas. Por meio dessa mediação, os estudantes atingiram um consenso sobre a relação entre o comprimento de onda, a inclinação da reta e a espessura do fio de cabelo. Portanto, o estabelecimento da relação matemática permitiu que os grupos calculassem a dimensão do fio e comparassem os valores obtidos com as médias biológicas conhecidas, exercitando a autonomia e o pensamento crítico diante de resultados experimentais.

Verificamos que a surpresa dos estudantes ao obterem uma medida tão pequena por meio de um método indireto consolidou a percepção de que a Física oferece ferramentas poderosas para a compreensão do comportamento ondulatório da luz. Finalmente, levantamos questionamentos sobre como melhorar a precisão do experimento para futuras investigações e, após uma breve síntese coletiva, encerramos a atividade.

5.2.5 Atividade 5 - Prática experimental: Medida do comprimento de onda do laser

Iniciamos a etapa da intervenção apresentando o roteiro investigativo e os aparatos experimentais necessários, compostos por um laser de cor vermelha devidamente acoplado a um suporte, suportes para o obstáculo, fita adesiva, réguas e trenas (ver Figura 20). Como os estudantes já tinham familiaridade com os materiais, estruturamos esta intervenção em duas aulas articuladas.

Figura 20 - Arranjo experimental para a determinação do comprimento de onda do laser: incidência de laser vermelho sobre um fio de cabelo, devidamente fixado aos suportes e alinhado ao trilho óptico.



Fonte: Autor (2026).

Entregamos os materiais aos grupos e fornecemos as orientações básicas para a execução da atividade, ressaltando a inversão da lógica do experimento em relação à Atividade 4. Além disso, demonstramos aos estudantes que, da mesma maneira que mensuramos a espessura do fio de cabelo, poderíamos determinar o comprimento de onda do laser, desde que possuíssemos uma informação prévia e confiável sobre a dimensão do objeto difrator.

A partir desse marco, os grupos iniciaram os procedimentos de montagem e a coleta de dados, período no qual circulamos entre as equipes para mediar os significados compartilhados. No entanto, identificamos que os estudantes manifestaram incertezas quanto às medidas fundamentais para a aplicação da relação matemática, o que demandou nossa intervenção direta para auxiliá-los na aferição das grandezas (ver Figura 21). Assim, após a conclusão da etapa empírica, os estudantes realizaram individualmente os cálculos para a determinação do comprimento de onda, processo que exigiu orientações pontuais sobre a conversão de unidades de medida e o rigor nas operações algébricas.

Figura 21 - Estudantes realizando a prática experimental de medida do comprimento de onda: detalhe do laser acoplado ao suporte e alinhado ao fio de cabelo para projeção do padrão de difração.



Fonte: Autor (2026).

Com os resultados em mãos, sistematizamos os valores obtidos por cada equipe no quadro e fomentamos uma discussão reflexiva sobre as discrepâncias observadas. Outrossim, indagamos os estudantes sobre as razões pelas quais os valores encontrados divergiam entre os grupos e em relação ao padrão esperado para a luz vermelha. Nesse sentido, conduzimos um debate sobre a precisão das ferramentas de medição e sobre a variabilidade do fio de cabelo, que não possui uma espessura uniforme em toda a sua extensão. Portanto, a mediação docente permitiu que as interações dos estudantes se voltassem para a compreensão de que, para a obtenção de valores exatos, o controle rigoroso das variáveis e a precisão dos instrumentos são imperativos.

Verificamos que, embora os resultados tenham divergido do valor nominal do fabricante, os estudantes foram capazes de identificar que a ordem de grandeza estava correta. Desta maneira, os estudantes concluíram que a imprecisão na medida da espessura do fio de cabelo atuou como a principal fonte de incerteza do experimento. Esta percepção sobre a natureza das medidas físicas é um pilar das Práticas Científicas (PC), preparando os sujeitos para a última etapa da sequência, na qual discutiremos a síntese das aprendizagens e a aplicação dos conceitos em novos contextos.

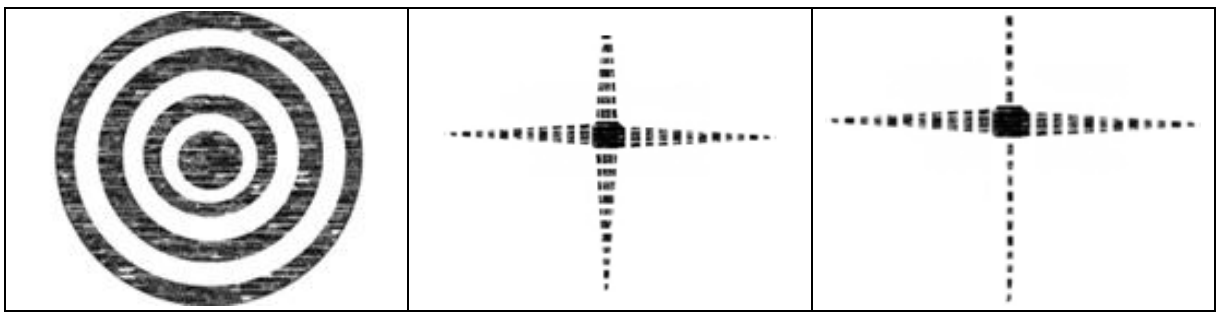
5.2.6 Atividade 6 - Questões abertas: Identificação da geometria das aberturas pelos padrões de difração

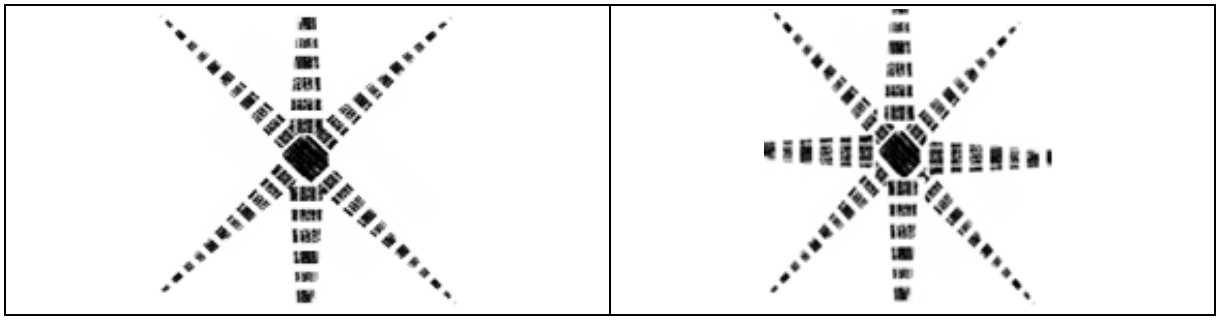
Nesta atividade, propusemos a aplicação de um questionário individual, no qual apresentamos diversas figuras representativas de padrões de difração (Figura 22). A atividade foi estruturada para ocorrer ao longo de uma aula.

Solicitamos que os estudantes descrevessem a forma geométrica da fenda (máscara) responsável pela formação de cada padrão observado, incentivando o exercício da inferência geométrica a partir da luz projetada no anteparo. Além disso, orientamos os estudantes a analisarem os registros com base nas observações fenomenológicas consolidadas em encontros anteriores, buscando determinar a forma da abertura por meio da simetria dos picos de difração (*Diffraction Spikes*).

No entanto, identificamos que parte dos estudantes manifestou dúvidas iniciais sobre a natureza da tarefa proposta. Assim, mediamos a atividade instruindo a turma a estabelecer correlações diretas entre os novos padrões e aqueles explorados durante a simulação computacional da Atividade 3, visando à identificação de invariantes entre a geometria do obstáculo e a distribuição da intensidade luminosa. Verificamos, a partir desse direcionamento, que diversos estudantes associaram prontamente padrões circulares e quadráticos às suas respectivas fendas. Outrossim, notamos que outros estudantes, ao analisarem a quantidade e o posicionamento dos picos de difração, conseguiram deduzir a forma de máscaras não observadas previamente, como hexágonos e octágonos, demonstrando um elevado nível de generalização.

Figura 22 - Representação visual de padrões de difração gerados por aberturas de diversas geometrias, utilizados como subsídio para a atividade avaliativa.





Fonte: Autor (2026).

Durante a execução dos registros, circulamos entre os estudantes para orientar a organização do conhecimento e a interpretação dos dados, garantindo que a autonomia dos sujeitos fosse preservada frente aos desafios propostos. Por fim, organizamos um momento de debate coletivo no qual as conclusões foram socializadas. Nesse sentido, os estudantes que identificaram com maior rapidez a relação entre os picos de difração (*spikes*) e o número de lados da figura geométrica atuaram como mediadores para os demais colegas, explicando como a geometria da abertura governa a orientação dos picos de difração (*spikes*).

Portanto, a mediação docente nesta atividade de fechamento permitiu que as interações dos estudantes se consolidassem em Práticas Epistêmicas (PE) de investigação, avaliação e desenvolvimento de explicações, conforme preconiza Sasseron (2018). Evidenciamos que a capacidade de abstração dos estudantes, aliada à experiência prévia com os simuladores, foi fundamental para a transposição do padrão visual para o modelo geométrico abstrato. Esta etapa de reconhecimento de padrões encerra o percurso didático da SEI, fornecendo-nos os subsídios necessários para a análise do desenvolvimento de práticas científicas e epistêmicas que detalharemos no próximo capítulo.

6 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DA PESQUISA

Neste capítulo, apresentamos a análise dos dados obtidos na pesquisa, etapa que constitui o núcleo central deste trabalho. Na análise e discussão dos dados coletados em cada momento da Sequência de Ensino Investigativa (SEI), focamos em identificar o desenvolvimento de práticas epistêmicas (PE) e práticas científicas (PC) mobilizadas pelo professor de Física e seus estudantes.

Nesta pesquisa, as práticas epistêmicas são compreendidas a partir das dimensões de proposição (PE1), comunicação (PE2), avaliação (PE3) e legitimação de ideias (PE4), conforme as definições de Sasseron e Silva (2021), e Kelly e Licona (2018). Além disso, as práticas científicas são articuladas em torno do trabalho com novas informações (PC1), do levantamento ou teste de hipóteses (PC2) e da elaboração de explicações ou justificativas (PC3), seguindo a sistematização proposta por Sasseron (2018). Identificamos que essa estrutura permite observar como o estudante do Ensino Médio, ao ser inserido em um ambiente investigativo, transita entre a manipulação de dados e a construção de argumentos fundamentados.

As especificidades de cada prática encontram-se detalhadas no Quadro 1, que servirá de referencial para a análise das interações discursivas ocorridas durante a aplicação da SEI. Tal categorização é apresentada por Bodevan e Coelho (2023) que, apoiada nos referenciais supracitados, descreve o entendimento de que essas práticas são indissociáveis no desenvolvimento das práticas científicas e epistêmicas. Nesse sentido, corroboramos a perspectiva de Bodevan e Coelho (2023) quanto às definições estabelecidas por Sasseron (2018), entendendo que a mobilização dessas competências durante as atividades de Difração da Luz evidencia o protagonismo do estudante. Sistematizando essas premissas, as análises que seguem detalharão como esses processos se manifestaram em cada intervenção em sala de aula.

6.1 A SEQUÊNCIA DE ENSINO INVESTIGATIVA

6.1.1 Apresentação da proposta didática aos estudantes

A apresentação da proposta didática aos estudantes ocorreu em ambiente de sala de aula, momento em que detalhamos os objetivos pedagógicos e os procedimentos metodológicos que estruturam a SEI. Para assegurar a integridade ética da pesquisa, os discentes que manifestaram interesse em participar formalizaram seu aceite por meio da assinatura do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) e do Termo de Autorização para Utilização de Imagem e Som de Voz. Identificamos que, para os estudantes menores de 18 anos, a coleta do Termo de Assentimento Livre e Esclarecido (TALE) foi acompanhada da devida autorização dos responsáveis legais, cumprindo rigorosamente as normas de ética em pesquisa.

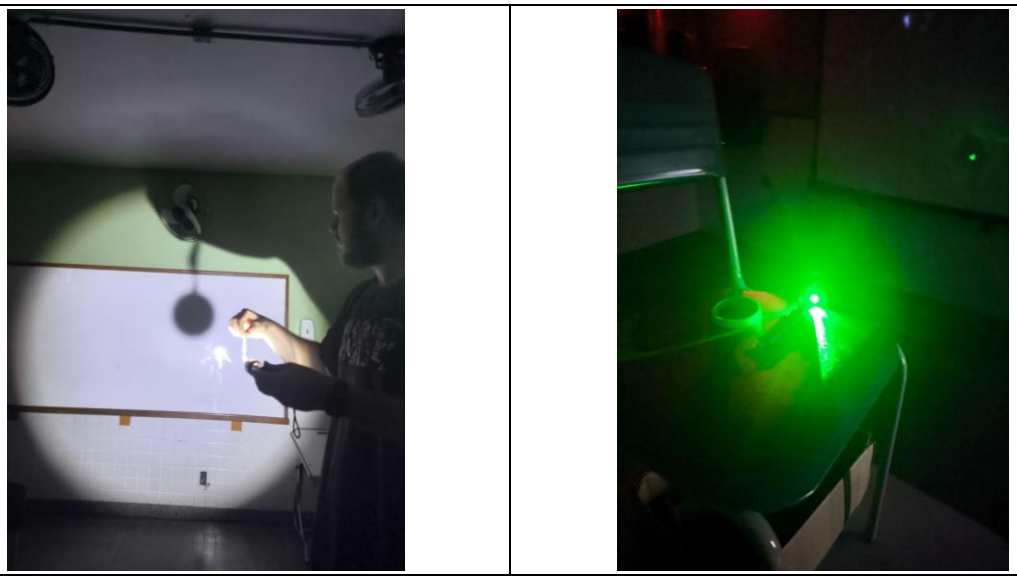
Neste processo, assumimos o compromisso estrito de preservação da identidade dos participantes. Demonstramos essa cautela ao estruturar as análises e os resultados mediante o uso de nomes fictícios, garantindo que o ambiente investigativo fosse preservado de quaisquer exposições indevidas. Asseguramos, ainda, que todas as informações fornecidas são utilizadas exclusivamente para a execução deste estudo e para a produção de artigos científicos na área de Ensino e Educação. Identificamos que tal postura ética não apenas atende aos protocolos institucionais, mas também estabelece um pacto de confiança com os alunos do Ensino Médio, validando suas vozes como sujeitos de conhecimento.

Sistematizando as etapas iniciais de engajamento, inferimos que essa formalização ética estabelece o vínculo de confiança indispensável para o desenvolvimento da autonomia discente. Identificamos que tal segurança permite que os estudantes do Ensino Médio atuem como protagonistas nas atividades investigativas que compõem a sequência didática, criando o cenário ideal para a emersão das primeiras práticas epistêmicas. Essa base de confiança mútua foi determinante para as primeiras interações da SEI, cujos desdobramentos práticos e análises discursivas iniciamos a detalhar na seção seguinte, focada na Atividade 1.

6.1.2 Atividade 1 – Explorando sombras: uma atividade investigativa

Iniciamos a Atividade 1 dividindo a turma em três grupos distintos, estratégia adotada para viabilizar e fomentar a discussão entre os estudantes sobre os fenômenos a serem observados. Na sequência, realizamos a entrega do roteiro intitulado “Explorando sombras: Uma atividade investigativa” (Apêndice D), momento em que detalhamos a dinâmica experimental envolvendo o uso de uma bolinha de gude pintada de preto e uma lanterna para a projeção de sombras. Caracterizamos a mediação docente, ao propor essa situação-problema, como gatilho para a emergência da prática epistêmica de proposição de ideias por parte dos discentes (ver Figura 23).

Figura 23 - Aparatos experimentais para análise da interação da luz com a matéria: comparação entre a projeção de sombras definidas e os efeitos de difração em função da dimensão do obstáculo.



Fonte: Autor (2026)

Nesta etapa, instigamos os alunos a formularem hipóteses sobre o formato da sombra antes da execução do experimento, ação que caracteriza a prática científica de levantamento de hipóteses. Demonstramos que esse exercício de previsão é essencial para a mobilização de práticas científicas e epistêmicas e para a construção dos primeiros sentidos físicos sobre o fenômeno, pois exige que o estudante do Ensino Médio mobilize seus conhecimentos prévios sobre a propagação retilínea da luz.

Caracterizamos a ocorrência de um intenso debate entre os grupos após a proposição da questão-problema: “Qual será a forma da sombra projetada por uma bolinha de gude quando uma lanterna ligada for direcionada a ela?”

A transcrição a seguir evidencia os episódios que emergiram durante as interações discursivas com um dos grupos participantes:

A-17:O formato provavelmente vai ficar meio oval?
A-15:Eu também estou achando.
A-10:Eu também acho porque, por causa da corda.
A-17:Não, por causa disso, mas é por causa da direção da lanterna, mano.
A-15: A luz vai bater nela e vai aumentar.
A-15: O A-10 disse que vai ficar meio que oval e eu acredito que de fato vai ficar mesmo. Se não criar um formato oval vai ficar um formato mais circular igual ao da bolinha mesmo.
A-03:Faz sentido, meu amigo.
é o que formato.
A-15:Faz sentido, mano.
A-07:Depende de quanto você aproximar lanterna também.
A-17:É, escreve isso mesmo.
A-10:Depende do quanto você aproximar a lanterna vai ficar maior. Se você, se você aproximar a lanterna vai ficar maior. Se você afastar, vai diminuir,
A-10:Mas, mas isso aí é verdade. Esse, esse, esse modo aí que ele falou que dependendo da distância que ia aproximar a lanterna ou afastar.
A-15:Só que vai aumentar, ele pode tirar essa conclusão e falar: "Não, vou descontar outro que não falou exatamente".
A-03:Não, mas é verdade, é isso mesmo.
A-15:Eu concordo plenamente tanto com A-10.
A-03:Sabe o que que a gente podia falar também? A gente tinha falado que é oval, só que depende do ângulo.
A-17:Mas é isso que a gente estava discutindo.
A-15:Ováltico. meio vertical. Se a gente jogar para o outro lado, vai mudar o formato.
Professor: Então qual será a forma da sombra projetada?
A-17:Mas era isso que a gentes estava discutindo no começo.
A-15:Essa questão do ela vai ser mais difícil um pouquinho.
A-17:Fala sobre o quê?
A-15:Ela tá falando: "Qual será a forma da sombra projetada por uma esfera de ponta de caneta quando um laser ligado for direcionado a ela?" No espaço abaixo, você deve formular uma hipótese inicial para a questão proposta justificando com argumentos.
A-17:Hum.
A-10:Essa daí vai ser mais difícil,
A-17:Vai ser mesmo.
A-15:Acredito eu que quando lei bater na ponta da caneta.
A-15: ele não vai passar, vai ficar um
A-17:Sim,
A-15:entendeu?
A-03:A gente, ô A-10, a gente já podia escrever essa dois,
A-03:Então, só que a gente todas as atividades que ele passar, a gente vai criar as hipóteses antes. A gente já pode ir criando para adiantar o nosso lado.
A-10:Pois é, porque aí depois é só é só a gente fazer a correção, se tiver certo ou errado. Na nessas duas aqui, ó,
A-15:Ele já vai fazer o teste.

No início da intervenção, após a apresentação do experimento sobre a formação de sombras, identificamos que os discentes se envolvem imediatamente na formulação de hipóteses. Observamos que o aluno A-17 mobiliza a proposição de ideias (PE1) ao sugerir que a geometria da sombra projetada pela esfera será “meio oval”, concepção que é prontamente comunicada e endossada por A-15 (PE2). Por sua vez, inferimos que A-10 complementa a proposição original ao atribuir o formato oval à presença do fio que sustenta o objeto, embora A-17 discorde e apresente uma contra-argumentação, reforçando que a orientação da fonte luminosa é o fator determinante (PE3).

A discussão evolui para a análise da influência da distância, momento em que A-10 explica que o tamanho da projeção “depende do quanto você aproximar a lanterna vai ficar maior”, ideia que recebe a legitimação (PE4) por parte de A-03 e A-15. Na sequência, os estudantes consideram novas variáveis físicas, com A-03 e A-10 propondo que a sombra também depende do ângulo de incidência da luz, evidenciando que suas hipóteses iniciais (PC2) passam por um processo de refinamento e elaboração de justificativas (PC3). Notamos que esse movimento expressa a construção progressiva de sentidos físicos sobre a propagação retilínea da luz, na medida em que os estudantes buscam nexos causais que transcendem a observação imediata, mobilizando sua bagagem de vida para interpretar fenômenos ópticos.

Identificamos que, a partir da mediação do professor, os estudantes A-15 e A-17 comunicam suas hipóteses (PE2) para o grupo, enquanto A-03 e A-15 validam as proposições do colega A-10 por meio da legitimação de ideias (PE4). Observamos que a troca de informações entre A-10, A-15 e A-17 evidencia a prática de avaliação (PE3), momento em que os sujeitos questionam e comparam as suposições levantadas. O trabalho com novas informações (PC1) se manifesta no instante em que apresentamos o aparato experimental, instigando os alunos a levantarem e testarem hipóteses (PC2) acerca da forma da sombra projetada. Essas primeiras interações entre os estudantes evidenciam o modo como essas práticas científicas e epistêmicas se inter-relacionam no processo de construção dos sentidos físicos iniciais sobre o comportamento óptico do sistema (Sasseron; Silva, 2021). Essas

interações continuam sendo evidenciadas ao longo da sequência de ensino investigativa.

Após as discussões, realizamos a demonstração investigativa (ver Figura 1 esquerda) e os estudantes testam suas hipóteses, o que dá início ao segundo momento de discussão.

> Professor: Então, se eu colocar a bolinha de gude na frente da luz da lanterna. A sombra que aparecerá será da bolinha e, também, da linha que está segurando. A maioria de vocês acertou?
> Estudantes: Sim.
> Professor: Vai ter uma sombra no formato de um círculo, que é o formato da bolinha de gude.

Dando continuidade à SEI, solicitamos que os estudantes elaborem uma nova hipótese sobre o resultado experimental ao substituirmos lanterna (fonte de luz extensa) por um laser (fonte de luz monocromática e coerente), e a esfera de gude por um obstáculo de dimensões reduzidas. Essa alteração nas variáveis do sistema busca desestabilizar os sentidos físicos previamente construídos, exigindo que o estudante mobilize seus conhecimentos sobre a natureza da luz para prever novos fenômenos.

Desta forma, uma nova discussão se inicia, momento em que os estudantes debatem e expõem suas ideias por meio da prática de comunicação. Apresentamos, abaixo, trechos das interações discursivas ocorridas na intervenção com o Grupo 1:

> Professor: Qual será a forma da sombra projetada por uma esfera de ponta de caneta quando um laser ligado for direcionado a ela?
> A-03: A bolinha vai derreter,
> A-15: Não, acho que não. Acho que não.
> Professor: Então a ideia é vocês pensarem se vai ser igual com a bolinha de gude, ou se vai ser diferente e responder. Se vocês quiserem dar uma olhada aqui no laser, nas esferinhas, pode pegar. Vou deixar aqui que eu vou ir montando o experimento.
> A-03:Como é um metal, o que é que metal tinha que fazer? Refletir.
> A-15:Sim, o professor falou que é um metal.
> A-17:Aquela bolinha é muito pequena para refletir?
> A-10:Eu acho que vai ficar tipo um buraco na luz?
> A-17:Ela não tem, eu acho que a bolinha não tem tamanho suficiente para refletir a luz.
> A-17:É de metal. Mas gente, pegar para ver agora.
> A-03:Ali tá refletindo.
> A-15:É. Aquilo lá é branco também.
> A-17:Vocês acham?

A-10:Eu vou seguir a teoria dos dois aqui.
A-17:Fala de novo!
A-03:Eu acho que vai dar a mesma coisa que a que a lanterna com a bolinha maior, só que vai ser menor por causa que os dois são menores, a luz é menor e o negócio é menor a bolinha. Só que por causa dela ser de metal, ela também vai refletir um pouco, mas não sei se vai falar sobre isso, mas vai refletir um pouquinho.
A-17: A-15, o que que você acha que vai acontecer?
A-15:Acredito eu que pela bolinha ser muito pequena e o laser também, como que se diz? O raio do laser ser fino e não ser tão amplo quanto o da lanterna. A luz que é refletida vai bater na bolinha e vai ser refletida de novo e todos aqueles raios que baterem nela vai ficar irregular. Um vai ficar para um lado, o outro vai ficar para o outro por causa da luz.
A-10:Por causa da reflexão.
A-15:É a reflexão da luz. Ela vai refletir.
A-10:Ele se tornou menor porque ele bateu na bolinha.
A-17: Para mim não mudou muito não.
A-10: Aqui é o tamanho do laser. Tem o negócio da bolinha. Aqui é o tamanho do laser sem o negócio da bolinha.
A-03:Eu acho que vai refletir um pouquinho engraçado. E será que se colocar muito perto não vai fazer um maior do que o outro, tipo, vai ser maior.
A-015:Será isso que eu tô pensando? Eu estou achando que quando bater na bolinha, quando bater na ponta da bolinha, por ela ser de metal, o raio vai, além dele preencher a bolinha, é tipo uma luzinha, como se fosse um espelho.
A-10:Mas aí seria um espelho, não metal. Se fosse um espelho, eu acho que seria sim.
A-15:Sim. Só que um metal dependendo pode refletir e se tornar um espelho.
A-10:Eu não sei.
A-07:Aí vai atravessar a bolinha e vai jogar lá na frente.
A-03: Pode ser que quando bater aqui também vai passar
A-15: Isso aí é uma hipótese.
A-17:Qual é a sua mesma A-10?
A-10:Vai bater na bolinha. O laser batendo no quadro mesmo. Bateria na bolinha e refletiria, a bolinha tamanho normal ai depois o laser fica menor.
A-03: O raio do laser quando entrar em contato na bolinha ele vai refletir por trás da bolinha só que de forma menor e de formato circular.
A-10: Porque eu acho que não vai sair e vai entrar quadrado.
A-15:Quanto maior a luz vai e distante vai ser maior, vai ser menor distante vai ser menor a bolinha. Mas se a luz for pequena também vai aumentar a bolinha. Ou ela vai ficar pequenininha.
A-17: A sua teoria é qual?
A-10: É do raio batendo na bolinha e refletir, refletir na sala ao redor da sala.
A-15:Não, na sala, mas na lateral da sala.
A-10:É…Na lateral da sombra dela. É de onde a bolinha tá que vai refletir para os lados.
A-15: É, eu acredito nisso também. E que vai ficar com a bolinha,
vai atravessar a luz. Então, vai atravessar a bolinha.
A-17:Então, é isso.
A-03:Dá para juntar as duas teorias e arrumar uma só. Tem como você juntar a sua fala, o raio do laser entrando em contato com a bolinha, irá se tornar menor e vai refletir a imagem sem pular por trás dos raios que bater na bolinha. [Sem preencher a sombra]
A-10:Mas se desse aí vai dar como se fosse uma hipótese só para um negócio. Tipo, o grupo discutiu e chegamos em um consenso em que há duas hipóteses.
A-03:Não, não precisa falar que são duas. É só você falar que é uma hipótese, só que com complemento de que vai se espalhar também.

Identificamos que, no início da discussão sobre o novo arranjo experimental, o aluno A-03 mobiliza uma proposição (PE1) ao sugerir que a esfera poderia sofrer um processo de fusão pelo calor do laser; contudo, observamos que A-15 prontamente a desconsidera, exercendo a prática de avaliação de ideias (PE3). A partir da mediação docente, o grupo se concentra em formular novas hipóteses (PC2), mobilizando informações prévias sobre as propriedades físicas dos materiais utilizados (PC1).

Os estudantes A-03 e A-17 questionam se a esfera, por ser metálica e possuir dimensões reduzidas, seria capaz de refletir a luz incidente, ao que A-15 e A-10 respondem avaliando (PE3) as características do obstáculo. Na sequência, os estudantes comunicam suas compreensões (PE2) de forma mais elaborada: A-15 descreve o comportamento óptico do feixe de laser, enquanto A-03 mobiliza a legitimação (PE4) da ideia de seu par. Evidenciamos, nesse ponto, o protagonismo discente ao proporem que as diferentes hipóteses sejam unificadas em um único argumento coletivo, sinalizando um amadurecimento na construção coletiva de sentidos físicos sobre o fenômeno.

Identificamos que, a partir da mediação docente, os estudantes A-15 e A-03 comunicam suas hipóteses (PE2) acerca do comportamento óptico resultante da interação entre o laser e a esfera metálica. Observamos que o grupo, com protagonismo de A-17 e A-10, avalia as proposições dos pares (PE3) ao questionar a capacidade de reflexão do objeto em função de sua natureza metálica e de suas dimensões reduzidas. Inferimos que o trabalho com novas informações (PC1) manifesta-se no instante em que os discentes processam as características técnicas dos materiais fornecidos (um dado novo inserido no ambiente investigativo) para subsidiar o levantamento de hipóteses (PC2) mais robustas. Ademais, a legitimação de ideias (PE4) ocorre quando o aluno A-03 propõe unir as diversas hipóteses em uma única, buscando o consenso coletivo e contribuindo para a construção compartilhada dos sentidos físicos do grupo.

Assim, no início do segundo experimento, o aluno A-03 apresenta uma proposição (PE1) ao sugerir que a esfera sofreria um processo de fusão (“a bolinha vai derreter”), ideia que é prontamente desconsiderada por A-15, evidenciando a prática de avaliação de ideias (PE3). Na sequência, observamos que os discentes comunicam

suas concepções (PE2) em oposição à tese de A-03, sustentando-as por meio de uma avaliação das propriedades do material (PE3) ao considerarem que o objeto é metálico e possui dimensões reduzidas. A partir disso, A-10 e A-15 sugerem novas hipóteses (PC2) sobre o comportamento do feixe de laser e a forma da sombra projetada. Notamos que A-10 avalia as proposições (PE3) apresentadas pelos pares ao mobilizar novas informações (PC1), especificamente sobre a reflexão em espelhos e metais, para fundamentar o levantamento de sua própria hipótese.

Após as discussões, realizamos a demonstração investigativa (ver Figura 1, direita) e os estudantes testam suas hipóteses, o que dá início ao segundo momento de discussão do experimento com a esfera pequena.

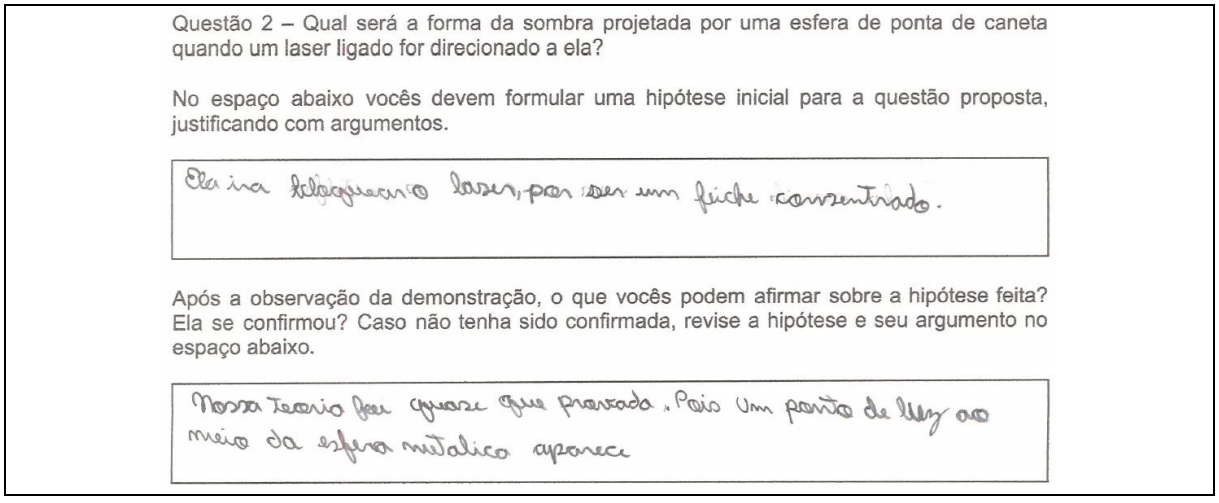
> Professor: Venham aqui perto para vocês verem detalhes. Olhem a diferença entre a sombra, da bolinha de gude com a lanterna. No meio dela não está iluminado. Enquanto na esfera pequena há um ponto luminoso no meio da sombra. Então esse ponto luminoso ele acontece devido ao efeito chamado difração. Agora no segundo espaço de respostas da questão dois vocês devem revisar suas hipóteses.
> A-17: Tá certo?
> A-15: O professor disse que no geral está certo. O que ficou faltando foi dizer que ficou um pontinho no meio da sombra.
> A-03: De luz né?
> A-15:Exato. Aí o professor disse que é para revisar, colocando isso, explicando o que faltou e falar sobre esse pontinho de luz no meio de uma sombra, e explicando por que isso ocorre.
> A-03: Por causa do processo de difração.

Nesse trecho, a mediação docente retoma as hipóteses apresentadas pelos estudantes, sustentando as concepções levantadas para promover o encerramento do problema inicial. Inferimos que essa estratégia favorece a emersão de práticas epistêmicas de proposição (PE1) e comunicação (PE2), além de mobilizar as práticas científicas de levantamento de hipóteses (PC2) e trabalho com informações (PC1). Observamos que a legitimação (PE4) ocorre logo no início quando, após a testagem empírica, o professor valida as comparações efetuadas pelos estudantes entre os diferentes obstáculos.

Em seguida, notamos que os discentes A-15 e A-03 são os primeiros a comunicar suas percepções refinadas (PE2), formulando uma nova hipótese (PC2) a partir do conflito gerado pelo experimento. Diante de uma nova demonstração investigativa, inferimos que A-15 e A-03 mobilizam a avaliação dos resultados (PE3) ao

confrontarem o observado com o previsto, o que lhes permite elaborar a justificativa (PC3) de que a lacuna em sua hipótese residia na omissão do “pontinho de luz no meio de uma sombra”. Evidenciamos que essa constatação, fruto da autonomia dos estudantes, funciona como o ponto de partida necessário para a construção de um novo sentido físico: o de que a luz, ao encontrar obstáculos pequenos, manifesta um comportamento que extrapola os limites da óptica geométrica, exigindo a introdução do conceito de difração.

No trecho destacado abaixo apresentamos os registros do Grupo 1 referentes à segunda questão do roteiro investigativo, que aborda o fenômeno do ponto claro de Fresnel por meio da interposição de uma pequena esfera ao feixe de laser. Verificamos que, na etapa inicial de previsão, o grupo formulou a hipótese de que a esfera bloquearia integralmente a luz devido à natureza concentrada do feixe. No entanto, após a demonstração investigativa, os estudantes revisaram sua hipótese original, constatando que a hipótese não se confirmou diante do aparecimento de um ponto luminoso no centro da sombra projetada. Assim, inferimos que esse resultado é fundamental para o alcance dos objetivos da atividade, uma vez que estabelece um conflito intencional com os sentidos físicos construídos na primeira questão, os quais estavam limitados ao âmbito da óptica geométrica.



Questão 2 – Qual será a forma da sombra projetada por uma esfera de ponta de caneta quando um laser ligado for direcionado a ela?

No espaço abaixo vocês devem formular uma hipótese inicial para a questão proposta, justificando com argumentos.

Ela irá bloquear o laser, por ser um feixe concentrado.

Após a observação da demonstração, o que vocês podem afirmar sobre a hipótese feita? Ela se confirmou? Caso não tenha sido confirmada, revise a hipótese e seu argumento no espaço abaixo.

Nossa teoria foi oposta que provada. Pois um ponto de luz ao meio da esfera metálica aparece

Além disso, notamos que, ao tentarem conciliar os resultados anteriores com as novas evidências observadas, os estudantes mobilizaram práticas epistêmicas de proposição (PE1) e comunicação (PE2). Outrossim, verificamos que o processo de revisão da hipótese inicial exigiu o levantamento de novas suposições (PC2) e um

trabalho analítico com as informações obtidas (PC1). Assim, observamos que a discrepância entre a expectativa e o fenômeno observado atuou como catalisador para a reorganização dos sentidos físicos previamente construídos pelos estudantes, caracterizando uma articulação entre as práticas científicas e epistêmicas mobilizadas e a construção progressiva de sentidos físicos sobre o fenômeno da difração.

6.1.3 Atividade 2 – Comportamento ondulatório da luz

Iniciamos a Atividade 2 com a entrega e a leitura mediada do texto intitulado “Uma Breve História da Luz: Algumas Ideias Relevantes na Evolução das Teorias Ópticas até Fresnel (1819)”, material que elaboramos especificamente para fundamentar as discussões teóricas desta intervenção (Apêndice E). Caracterizamos esse material como recurso que busca situar o estudante no contexto das controvérsias científicas, permitindo o trabalho com novas informações de natureza histórica e epistemológica e contribuindo para a construção de sentidos físicos sobre a natureza ondulatória da luz que fundamenta o estudo posterior da difração. Na aula subsequente, fornecemos um questionário composto por sete questões abertas, estruturado para ser respondido de forma colaborativa, fomentando a comunicação de ideias entre os pares.

Figura 24 - Momento de leitura e interpretação textual: estudantes mobilizando práticas epistêmicas para responder questionamentos sobre a evolução histórica da óptica.



Fonte: Acervo do autor (2026).

Dividimos a turma em três grupos distintos, estratégia adotada para viabilizar a construção colaborativa das respostas ao questionário fundamentado no texto histórico. Identificamos que essa organização fomentou um ambiente rico para a comunicação de ideias, onde os estudantes puderam debater a importância de

questionar e testar teorias consolidadas à luz de novas evidências e tecnologias. A Figura 24 ilustra esse momento de intensa interação discursiva, capturando a atmosfera de investigação colaborativa estabelecida na sala de aula. Notamos, na imagem, o engajamento dos grupos com o material autoral fornecido, evidenciando o compromisso com o trabalho com novas informações. Tais reflexões emergem nas interações discursivas que apresentamos a seguir, referentes às discussões das questões um e dois do questionário.

> Professor: Juntem novamente os grupos para continuar a atividade de leitura de texto. Hoje iremos trabalhar com as sete perguntas abertas sobre o texto.
> A-12: Então vamos lá. Bora questionar. Qual a importância de questionar e testar teorias científicas antigas com novas tecnologias e métodos?
> A-11: Eu acho que com as novas tecnologias a gente consegue entender melhor, qual foi o pensamento das pessoas, cientistas no passado.
> Qual a importância para questionar?
> A-16: Eu acredito que é bom porque com as novas tecnologias a gente consegue entender melhor como os cientistas no passado pensavam nas coisas, porque eles pensavam, a gente ia evoluindo esse pensamento deles e com a confirmação de alguma coisa que eles já pensaram, tipo, com alguma máquina que a gente consegue confirmar aquela teoria, é melhor pra gente testar nas coisas antigas para ver se a gente encontra alguma coisa diferente. Com as novas tecnologias, é mais fácil de entender o pensamento dos cientistas do passado.
> A-13: De que maneira as teorias ópticas desenvolvidas por diferentes culturas e cientistas ao longo da história influenciam o progresso científico?
> A-16: Pelo que eu li tem vários cientistas e filósofos que usam a óptica como um tema central para desenvolver e entender, mas cada um tem uma perspectiva diferente ou foca numa coisa diferente para se estudar. Um exemplo, o Kepler focou mais no sentido da óptica do olho. Platão e Aristóteles focaram mais na questão da luz em si e alguns outros foram pensando de formas diferentes. Mas o que eu entendi foi que eles usaram um tema só, que foi a óptica, porém eles tiveram vários outros pensamentos para desenvolver essa ideia. Cada um com um pedacinho diferente.
> A-11: E como isso influenciou?
> A-16: Isso influenciou para que a gente conseguisse ver várias áreas diferentes, vários pontos diferentes e áreas diferentes de uma coisa só.
> A-13: É o que você falou.
> A-11: É de que maneira?
> A-16: Influenciou porque nós conseguimos entender visões diferentes de pessoas diferentes de uma mesma área.
> A-13: E é progresso científico.
> A-16: Ah, o progresso foi porque Kepler usou a ideia de Aristóteles. Aristóteles desenvolveu uma ideia e o Kepler sua teoria a partir da ideia dele, ou seja, com várias áreas cada um pensava de uma forma diferente, e conseguiram ver as ideias de outros cientistas e conseguiram criar bases diferentes dessas ideias. Então, o progresso significa que com essas áreas diferentes eles conseguiram pensar e avançar mais nas teorias e ciências.

Identificamos que, na etapa inicial da discussão, a proposição da situação-problema sobre a revisão de teorias antigas mobiliza os estudantes em um exercício de reflexão sobre a própria natureza da construção do conhecimento científico. Observamos que

o aluno A-11 mobiliza uma proposição inicial (PE1) ao sugerir que o aparato tecnológico contemporâneo serve prioritariamente para a compreensão do pensamento de cientistas do passado, embora apresente tal concepção de forma pouco aprofundada. Em contrapartida, A-16 comunica uma compreensão mais abrangente (PE2), argumentando que a tecnologia não atua apenas como facilitadora do entendimento, mas permite a testagem e a confirmação de modelos antigos por meio do levantamento de hipóteses e novos métodos experimentais (PC2).

Inferimos que as intervenções de A-11 e A-13, ao exigirem maior clareza sobre os mecanismos dessa influência no progresso da Física, caracterizam a prática de avaliação (PE3) das respostas do colega (“de que maneira”). Diante disso, notamos que A-16 realiza o trabalho com novas informações (PC1) ao recuperar dados históricos sobre as contribuições de Kepler, Aristóteles e Platão contidos no texto de apoio. A partir dessa mobilização, evidenciamos que A-16 constrói uma explicação estruturada (PC3) e mobiliza a legitimação (PE4) do conceito de progresso científico, justificando que o avanço ocorre pela capacidade de refinamento e expansão das teorias ópticas a partir das bases deixadas pelos antecessores.

Dando continuidade à atividade investigativa, apresentamos a seguir trechos dos diálogos a respeito das questões três e quatro:

> A-16:Vamos lá. Porque é importante para a ciência ter debate e às vezes discordância entre cientistas sobre teorias como a da luz?
> A13: Mas é tipo assim, é porque é importante…
> A-16: Debater? Colocar as ideias no lugar.
> A-18: É tipo você defender sua ideia, eu defender a minha ideia e no final disso tudo é capaz de surgir uma ideia só para unificar as duas.
> A-16: Tem que ter discordância, tem que ter concordância.
> A-18:É! Porque quando ele perguntou [pergunta do questionário] porque é importante ter debate, só me lembrei do filme. Um filme que passou o ano passado sobre corrente que tinha uma pessoa que concordava na corrente reta, corrente contínua e o outro e o outro tinha opinião diferente da corrente mista, paralela. Um defendia a corrente contínua e o outro defendia a corrente paralela.
> Professor: Nicola Tesla e Thomas Edson.
> A-18: Isso. Nicolas. Isso aí. Não, não. No filme, no filme Nicolas veio depois era esse e mais um outro cara.
> A-13: Nicolas também participou.
> A-18: É, ele só participou no final.
> É Batalha de Correntes. Esse é o nome do filme.
> A-06: É lâmpada
> A-18: Não, batalha de corrente.
> A-13: É importante debater.
> A-18: É importante debater e defender as ideias.

A-11: É concordar e discordar, porque no final, com você anotando tudo, você vai conseguir realmente ver quem estava certo, que não tá certo. E se tiver os dois certos, vai juntar as duas ideias, vai dar uma outra ideia muito melhor. Cada um tem a sua crença.
A-13: Como os conceitos de óptica desenvolvidos ao longo da história são aplicados nas tecnologias modernas que usamos hoje?
A-16: Óculos e realidade. Realidade virtual VR
A-13:Óculos e realidade virtual. Tem mais.
A-16: Mas tem mais sim. Tem a energia. Tem a energia óptica, lembra? Que é a energia que vem através da luz?
deixa eu ver o que mais.
A-13 Tipo aquela cirurgia de promissão bem cirurgia laser.
A-18: Aquele telhado espelhado que pega a luz no sol.
A-16: Ai, energia solar.
A-13: Energia solar.
A-06: Teto solar.
A-11: Tem como é que é o nome daquele negócio? Você vai fazer uma um teste de visão, aí eles colocam um negócio na sua ver aquele negócio assim.
A-16: Sim, eu sei que é, eu não lembro o nome.
A-18: Oftalmologista.
A-16: Aí, ó. Uma profissão oftalmologista.
Gerou uma profissão.
A-16: Tem mais alguma coisa?
A-18: Não. Tá bom.

Identificamos que, ao propormos a discussão sobre o embate científico, o aluno A-16 mobiliza uma proposição (PE1) ao argumentar que a discordância é o elemento fundamental para a organização e o refinamento das ideias. Em contrapartida, observamos que A-18 amplia essa concepção ao comunicar (PE2) que o confronto entre perspectivas individuais pode culminar em uma síntese teórica unificada. Além disso, o estudante mobiliza a legitimação (PE4) de sua fala ao recorrer ao trabalho com informações externas (PC1), citando o registro histórico da disputa entre Tesla e Edison no filme “A Batalha das Correntes” como análogo ao debate óptico.

Inferimos que, diante disso, A-11 realiza a avaliação (PE3) da importância desse processo sociocientífico, argumentando que o tensionamento entre concordância e discordância permite a identificação de modelos mais robustos ou a construção de explicações superiores (PC3). Notamos que, a partir dos sentidos construídos sobre o fazer científico, o grupo trabalha com novas informações (PC1) para listar aplicações contemporâneas da óptica. Evidenciamos que os discentes A-16, A-13 e A-18 realizam o levantamento de hipóteses e exemplos (PC2) citando realidade virtual, cirurgias a laser e energia solar, construindo a explicação (PC3) de que o desenvolvimento histórico desses conceitos fundamenta as tecnologias modernas e áreas profissionais como a oftalmologia.

Dando continuidade ao processo de investigação, identificamos que os estudantes aprofundam o diálogo ao confrontarem as questões finais do questionário. Demonstramos, nos trechos das interações discursivas apresentados a seguir, como o grupo mobiliza a avaliação e a construção de explicações para fundamentar suas conclusões a respeito das questões cinco, seis e sete:

> A-16: Que impacto você acha que a compreensão da natureza da luz teve no desenvolvimento de outras áreas da ciência e tecnologia?
> A-18: Pô, foi o negócio da energia solar que falei porque ajudou bastante
> A-11: É energia renovável e ajudou fazendeiras pessoas que mexiam na fazenda, é, a agronomia lá, ajudou bastante com os animais.
> A-16: É porque usar porque uma das energias mais chatas, vamos assim dizer que aí suportava é energia eólica e ainda mais para o pessoal que mora perto, escutar aquele barulho todo do dia e mesmo que você mude aquele barulho que fica na sua cabeça
> A-11: E além de ser mais saudável
> A-16: Renovável
> A-11: Renovável e ajuda na natureza. É ela conseguiu desenvolver bastante
> A-12: Como a evolução das teorias sobre a luz reflete a natureza progressiva do conhecimento científico?
> A-13: Progresso.
> A-16: Tá. Então como a evolução sobre a luz progrediu o conhecimento científico? Ah, ela possibilitou novas profissões. Novas áreas, novas teorias, novos meios de saúde.
> A-13: Novas tecnologias.
> A-16: O que a história do estudo da luz nos ensina sobre a natureza da investigação científica e o papel da observação e experimentação?
> A-13: Ha quê?
> A:11: Eu não entendi.
> A-16: Pera aí, vamos ler devagar.
> A-16: Ah!!! Elas nos demonstram que a curiosidade é o primeiro passo para se entender sobre o mundo.
> A-18: Quais eram os três passos que você falava? Curiosidade. Não, não era curiosidade, eram outros.
> A-16: É curiosidade, teoria e experimento.

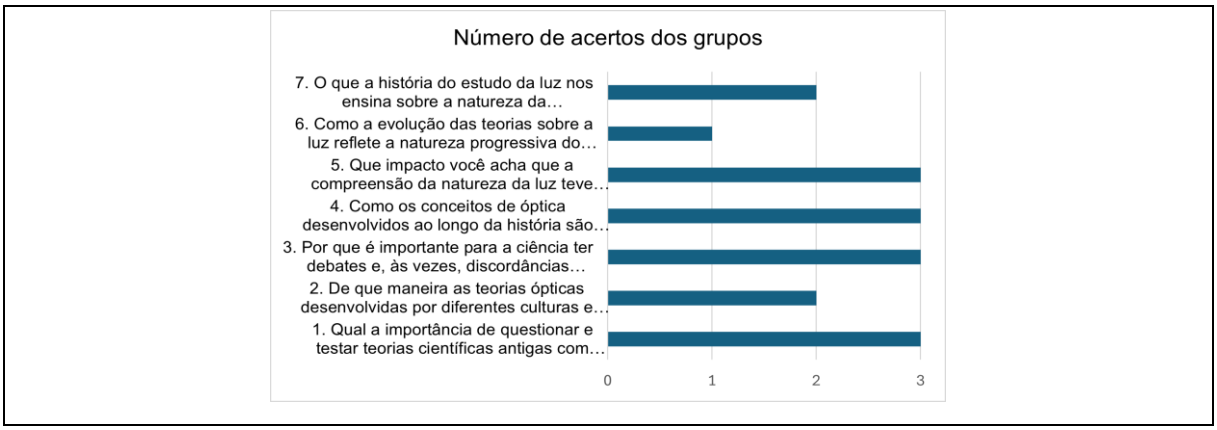
Identificamos, nesse trecho, o desenvolvimento integrado das práticas epistêmicas PE1, PE2, PE3 e PE4, bem como das práticas científicas PC1, PC2 e PC3. Demonstramos que as interações discursivas, mediadas pelas questões norteadoras do material autoral, permitiram evidenciar a autonomia dos estudantes ao articularem levantamento de hipóteses (PC2) e intenso trabalho com informações de contextos diversos (PC1).

Observamos como essas práticas se inter-relacionam de forma complexa: os alunos A-11 e A-18 realizam a proposição de ideias (PE1) ao sugerirem aplicações práticas da luz na agronomia e na geração de energia, enquanto A-16 exerce a avaliação

crítica (PE3) sobre os limites da energia eólica em comparação à solar. Inferimos que essa movimentação cognitiva mobiliza conhecimentos prévios e bagagem de vida (PC1) para fundamentar a construção de justificativas robustas (PC3) sobre a viabilidade tecnológica de cada recurso. Evidenciamos que tal engajamento não apenas valida o conteúdo físico, mas insere o estudante em um processo investigativo constituído por processos de construção de consenso e de decisão.

Identificamos que a prática de legitimação (PE4) manifesta-se no instante em que o estudante A-18 resgata a estrutura metodológica debatida pelo coletivo para validar a curiosidade intelectual como motor da atividade científica. Observamos que essa movimentação permite que o aluno A-16 sistematize e mobilize a comunicação de ideias (PE2), estruturando os três pilares da investigação: curiosidade, teoria e experimento, como componentes essenciais do levantamento de hipóteses (PC2). Esse movimento reforça o modo como a construção dos sentidos físicos ocorre de forma concomitante ao solucionar problemas de caráter sociocientífico (Sasseron; Silva, 2021), aproximando os alunos dos elementos da cultura científica ao reconhecerem o progresso do conhecimento como um processo humano e experimental (Jiménez-Aleixandre; Crujeiras, 2017).

Gráfico 1 - Resultados da atividade de leitura e discussão sobre a evolução dos conceitos de óptica e a validação do conhecimento científico.



Fonte: Autor (2026)

Apresentamos, no Gráfico 1, a distribuição de acertos e erros dos três grupos nas sete questões que compõem a Atividade 2. Identificamos um elevado índice de sucesso nas questões 1, 3, 4 e 5, nas quais todos os grupos atingiram o êxito conceitual

pretendido. Nesses momentos, as interações discursivas de estudantes como A-16 e A-11 evidenciam a consolidação das práticas de comunicação de ideias (PE2) e o trabalho com novas informações (PC1). Observamos que tal desempenho decorre, em grande medida, da capacidade dos discentes em articular a importância do debate científico às aplicações tecnológicas contemporâneas da óptica, tais como a realidade virtual e a energia solar (PC2), evidenciando a construção de sentidos sobre a relevância sociotecnológica do estudo da luz.

Em contrapartida, inferimos um desempenho intermediário nas questões 2 e 7, com o acerto de apenas dois grupos. Notamos que a questão 6, que aborda a natureza progressiva e provisória do conhecimento científico, representou o maior desafio para a turma, contando com o êxito de apenas um dos grupos. Evidenciamos que essa dificuldade sinaliza a complexidade inerente à prática de avaliação (PE3) e legitimação (PE4) de conceitos epistemológicos, que exigem do estudante uma ruptura com visões lineares e simplistas da ciência, dimensão que se mostrou mais resistente à construção de sentidos do que as questões centradas em fenômenos físicos concretos.

Identificamos que as dificuldades manifestadas na questão 6 podem ser atribuídas à complexidade cognitiva necessária para transitar de uma visão puramente técnica para uma construção de sentidos sobre o caráter progressivo e revisável do conhecimento científico (PC3). Notamos, a partir das transcrições, que, ao serem instigados pelo aluno A-12 sobre como a evolução das teorias reflete a natureza progressiva da ciência, os estudantes A-13 e A-16 limitaram-se a listar consequências práticas e utilitaristas. Observamos que essa tendência em priorizar os produtos da ciência, exemplificados por termos como “novas profissões” e “meios de saúde”, em detrimento do processo de refinamento e substituição de modelos teóricos, indica uma barreira na articulação de comunicações (PE2) que envolvam a natureza mutável do conhecimento. Como apontado por Silva, Gerolin e Trivelato (2018, pg. 906) “apenas o acesso à informação não garante aos cidadãos a compreensão adequada dos produtos da ciência, tampouco da natureza e do modo de produção do conhecimento científico”. Assim, a falta de distinção entre o avanço tecnológico tangível e a evolução conceitual abstrata parece ter sido o principal obstáculo para que os demais grupos formulassem argumentos científicos coerentes para esse item específico,

evidenciando que a articulação entre práticas epistêmicas (PE3, PE4) e a construção de sentidos sobre conteúdos epistemológicos abstratos exige um esforço cognitivo distinto daquele exigido pela construção de sentidos sobre fenômenos físicos diretamente observáveis.

6.1.4 Atividade 3 - Simulação computacional sobre padrões de difração

Na Atividade 3, recorremos à simulação computacional “Interferência de Onda” da plataforma PHET Colorado para explorar o fenômeno da difração da luz, com o intuito de fundamentar a construção de sentidos físicos sobre o comportamento das frentes de onda ao encontrarem obstáculos (ver Apêndice F). A atividade consistiu na visualização e análise do que ocorre quando um feixe luminoso atravessa pequenos orifícios, permitindo observar a formação de padrões que desafiam a propagação retilínea da óptica geométrica.

Para guiar essa investigação, os estudantes utilizaram um roteiro estruturado em quatro questões norteadoras (ver Figura 25), as quais serviram de suporte para o trabalho com novas informações e para a articulação entre a observação virtual e os sentidos físicos previamente construídos nas atividades anteriores da SEI.

Figura 25 - Estudantes durante a realização da atividade investigativa de simulação computacional sobre o fenômeno da difração da luz.



Fonte: Acervo do autor (2026).

Após a introdução ao simulador PhET Colorado, iniciamos a etapa de investigação e interação direta dos estudantes com a ferramenta digital. A **primeira questão** do roteiro investigativo apresentada aos estudantes é a seguinte: “Crie hipóteses sobre

como a figura se comporta se aumentarmos o diâmetro do orifício da máscara”. O objetivo central dessa etapa inicial foi estimular a prática de levantamento de hipóteses (PC2) e a construção de sentidos físicos sobre a relação entre as dimensões da fenda e o padrão de difração projetado.

Observamos que, ao serem confrontados com a manipulação das variáveis no simulador, os estudantes mobilizaram o trabalho com informações visuais para fundamentar suas suposições iniciais. Apresentamos, a seguir, a transcrição das interações discursivas que registram o processo de negociação de significados e as reações dos sujeitos durante esse processo.

> A-11: Tem que primeiro falar o que a gente vai achar e depois testar para ver o que realmente vai acontecer.
> Professor: Sempre há duas perguntas. A primeira para criar minha hipótese, a segunda para compará-la com o que de fato aconteceu depois.
> A-11: Selecione o diâmetro de 0,04 mm, aperte o botão vermelho no canto superior direito para ligar o laser e observe atentamente a figura projetada no anteparo. Crie hipóteses sobre como a figura se comporta se aumentarmos o diâmetro do orifício da máscara. O diâmetro está menor e o laser está menor [a área iluminada].
> A-12: É. Eu acho que se aumentar o diâmetro o laser diminui [a área iluminada]. Apesar que para mim não faz o menor sentido isso acontecer.
> A-16: É.
> A-11: Então, eu ainda acho que se aumentar o diâmetro, a área iluminada vai diminuir.
> A-12: É, vai diminuir.
> A-16: É porque é o que está aparecendo porque a bolinha [o orifício] está muito pequena e o laser está muito grande [a área iluminada]. Eu acho que com o diâmetro maior o reflexo [a área iluminada] não vai se esconder tanto.
> A-11:Então se aumentar o diâmetro eu acho que a laser vai diminuir [a área iluminada].
> A-10: Vai diminuir a dispersão aqui.
> A-16:Qual é o valor para aumentar? Tem um valor específico?
> A-10: Não.
> A-16: Então vamos aumentar.
> A10: Ela aumentou?
> A16: Aumentou?
> A-10: Diminuiu.
> A-11: Diminuiu.
> A-16 Lá. Diminuiu. Confirmou, a nossa estava certa.

Notamos que o aluno A-12 mobiliza a proposição inicial (PE1) ao sugerir que o aumento no diâmetro resultará na redução da imagem projetada. Em contrapartida, A-16 comunica sua compreensão (PE2) ao elaborar uma justificativa (PC3), argumentando que, com um diâmetro maior, “o reflexo não vai se esconder tanto”, concepção que é legitimada (PE4) por A-10 ao prever a diminuição da dispersão angular do feixe.

À medida que os estudantes interagem com o simulador, evidenciamos que o grupo realiza a testagem experimental. Assim, inferimos que A-16 e A-10 mobilizam a prática de avaliação do resultado (PE3) ao utilizarem o *feedback* visual imediato da simulação para corroborar a hipótese formulada pelo grupo. Notamos que essa interação demonstra a autonomia dos estudantes ao interpretarem dados fenomenológicos (“Diminuiu”) para validar os sentidos físicos construídos sobre a relação inversa entre o diâmetro do orifício e a área iluminada projetada.

Dando continuidade à investigação virtual, propusemos a **segunda questão** do roteiro, a qual orientava os estudantes a explorarem uma nova variável do fenômeno: “Crie hipóteses sobre como a figura se comporta se aumentarmos ou diminuirmos o comprimento de onda do laser”. Com esse questionamento, buscamos instigar os estudantes a construírem sentidos físicos sobre a relação entre a periodicidade espacial do padrão de difração e a natureza ondulatória da luz, associando a cor do feixe à sua característica física intrínseca.

Observamos que a manipulação dessa variável no PhET Colorado permitiu aos estudantes o trabalho com novas informações (PC1) de caráter visual e quantitativo. Notamos que, ao alterarem a cor do laser do vermelho para o azul, os estudantes foram desafiados a comunicar suas percepções (PE2) e a avaliar (PE3) se o “espalhamento” observado corroborava suas intuições prévias sobre a energia e o comprimento da onda. Apresentamos, na sequência, a transcrição das interações discursivas que revelam o processo de negociação de significados durante a experimentação com diferentes comprimentos de onda.

> A-16: Então é para a gente dizer o que acha que vai acontecer se a gente aumentar o comprimento da onda?
> A-12: Eu acho que vai ficar mais escuro.
> A-18: A cor fica mais clara?
> A-16: Eu acho que se a gente diminuir o comprimento da onda, no caso o laser, a cor vai ficar mais fraca e se aumentarmos, a cor vai ficar mais forte.
> A-12: O que eu falei?
> A-16: Se diminuímos a onda, a cor fica mais clara. E se aumentarmos a onda, a cor fica mais forte. Então, vamos testar. Ah, entendi.
> A-10 A cor fica.
> A-16: Não, aqui, olha o movimento.
> A-10: Ah,
> A16: Quanto mais você aumenta, mais o movimento [mudança no padrão de difração].

> A-10: Diminuindo as ondas. Legal.
> A-16: Ah, então quanto menor a cor menor fica a fração [espaço entre anéis de difração]. Quanto maior a cor, no caso, né, quanto maior o comprimento da onda, maior a bolinha fica lá. Ele aumenta.
> A-10:Mas aí é o que a gente achava, não?
> A-16: Nós erramos. É, quanto menor o comprimento da onda. Menor o diâmetro. E quanto maior o comprimento da onda, maior vai ser o diâmetro.
> A-11: Era meio óbvio isso, né?
> A-16: Mas a gente nem se tocou. É porque a gente pensou em cores, não pensei no diâmetro do negócio.

Identificamos que a interação discursiva se inicia com a proposição (PE1) do aluno A-12, o qual sugere que o incremento no comprimento de onda resultaria apenas em uma alteração na tonalidade da figura projetada, tornando-a mais escura. Em contrapartida, notamos que A-16 e A-18 propõem uma variação na intensidade luminosa, caracterizando a cor como mais forte ou clara. Demonstramos que, na sequência, A-16 comunica (PE2) a hipótese consensual do grupo sobre o comportamento da intensidade da luz, preparando o cenário para o teste experimental (PC2) no ambiente virtual.

Ao executarem a simulação, observamos que A-10 e A-16 realizam a avaliação do resultado (PE3) e identificam a discrepância entre a previsão e o fenômeno observado. Inferimos que a verbalização do erro (“Nós erramos”) marca a reorganização dos sentidos físicos previamente construídos pelos estudantes, uma vez que os sujeitos percebem que a variável alterada se manifestou na dimensão espacial do padrão de difração, e não apenas em sua cor. Evidenciamos que esse estranhamento leva os estudantes a construir uma nova explicação (PC3), na qual A-16 estabelece, de forma autônoma, a relação de proporcionalidade direta entre o comprimento de onda e a largura do padrão de difração. Esse grau de liberdade dado aos estudantes encontra respaldo na investigação guiada, na qual, segundo Silva (2018, pg. 909) “o professor oferece a pergunta de caráter científico e os estudantes conduzem as demais etapas da investigação de forma autônoma”. Assim, notamos que A-11 mobiliza a legitimação (PE4) dessa conclusão ao corroborar o raciocínio do colega ao afirmar que “Era meio óbvio isso, né?”, indicando a consolidação coletiva do novo sentido físico construído pelo grupo.

Dando continuidade à **terceira questão** do roteiro investigativo, orientamos os estudantes a explorarem outra propriedade fundamental do fenômeno: “Crie hipóteses

sobre como a figura se comporta se mudarmos o formato do orifício para diferentes formas". Com esse questionamento, o objetivo central foi instigar os alunos a construírem sentidos físicos sobre a relação entre a geometria do obstáculo e a forma do padrão de difração projetado no anteparo. Essa etapa exige que os estudantes realizem o levantamento de hipóteses ao preverem como a luz se distribui espacialmente quando atravessam fendas quadradas, triangulares ou furos complexos no simulador.

Observamos que a manipulação dessas diferentes máscaras no PhET Colorado permitiu aos discentes o trabalho com novas informações (PC1) de caráter visual e geométrico. Abaixo, apresentamos a transcrição das interações entre o professor e os estudantes durante a manipulação do formato do orifício no simulador.

A-16: Se o círculo, bom, basicamente fica que nem o formato do quadrado.
A-11: É, também acho que se ficar, tipo, se mudar para o quadrado.
A16: Vai ficar quadrado,
A-10: Só que tem aquela teoria, né? Tipo assim, de tudo que tá um negócio assim, nunca sai quadrado.
A-16: Sempre sai redondo. Um exemplo é quando você vai soprar bolinhas.
A-10: Isso!
A-16: Mesmo que você tenha uma estrela, se você soprar, ela fica…
A-10: Uma bolinha.
A-16: A o show da Luna. A Luna explicou isso. Eu estou tentando lembrar.
A-11: Mas por que fica isso?
A-16: A lembrei! O motivo acho que é porque o círculo é o melhor formato para alguma coisa.
A-06: O Show da Luna sempre ensina algumas coisas.
A-16: Isso aí eu sei que o círculo é o melhor formato para alguma coisa. Só não lembro o que.
A-11:Tá. Mas então vocês acham que vai?
A-16: Eu acho que é porque o círculo é o é o melhor formato que você consegue fazer, que a natureza consegue fazer, sabe? É o formato mais simples que eles conseguem fazer.
A-10: Professor. Se a gente fosse fazer assim, também iria acontecer a mesma coisa que acontece no simulador?
Professor: A ideia do simulador é ele representar a realidade. A grande dificuldade para fazer esse experimento na prática é fazer um furo tão pequeno assim. Aí esse diâmetro de 0,04 é milímetros. Então para gente reproduzir isso aqui na sala de aula, fazer um furo tão pequenininho para passar a luz ia ser bem difícil.
A-11: Entendi. Entendi.
Professor: Esta é a dificuldade. Então, o maior diâmetro, é 0,40 mm, um pouquinho menos da metade de 1 mm de diâmetro.
A-11: Então, vocês acham que tá, gente, acho que não vai ficar quadrado, vai ficar redondo mesmo assim.
A-10: Se for obedecer, a realidade é.
A-16: Eu acho que sim, porque é luz, não é como se fosse passar algum objeto ali no meio, sabe?
A-10: Mas aí vai…
A-16: Vai contra tudo que a gente teme. Não sei. Eu fiquei

A-10: A gente vai responder o que ali?
A-16: A gente pode colocar as duas hipóteses. Não especificou que precisa só de ser uma
A-11: A primeira é o óbvio, que é se mudar a figura, vai mudar.
A-16: O formato do laser,
A-11: Isso
A-16: Da refração [difração] do laser.
A-16: É, é, vamos continuar que se mudar a figura muda a refração [difração] do laser
A-10: E a outra que não muda ela
A-16: Vai permanecer um círculo.
A-11: Eu acho mais difícil.
A-16: Eu sei. Eu também. Mas pô é hipótese. Vai que,
nunca se sabe.
A-10: Pois é.
A-11: Por isso que eu iria no óbvio e não no mais complicado.
A-10: Mudou.
A-16: Caraca, mentira.
A-11: Só que ele está meio arredondado, né?
A-16: É, não, não. Ele está aqui, ó. O círculo ele fica em volta. No quadrado, ele fica nas nos lados,
A-16: É, a primeira hipótese estava certa e a segunda estava errada. Só isso.
A-11: É refração [difração], não é? A refração [difração] do laser muda.
Professor: Está formando o padrão de interferência de difração
A-10: Ah, é difração.
A-16: Difração.
A-10: Não é refração.
Professor: A difração é quando a luz encontra um obstáculo, seja ele um obstáculo tipo a bolinha do experimento aqui na sala de aula. Ou um furo. E ela contorna esse pequeno obstáculo. E a refração é quando a luz passa de um meio ao outro meio de propagação. Por exemplo, a luz sofre refração quando ela passa na lente dos óculos, devido a lente dos óculos ser diferente do ar.
A-10: Por isso ela não enxerga.
A-16: Não, por isso que ela enxerga.
Professor: Ela muda a direção e ajusta essa luz para a visão da pessoa. Devido o material da lente diferente do material do ar muda o caminho da luz para ajustar a visão da pessoa.
A-16: Como se sente Maria tendo essa refração nos seus óculos?
A-10: Muito bom, né? Porque aí eu consigo enxergar.
A-16: Então a direção muda porque ficam nas laterais.
A-10: É, fica nas laterais do quadrado.
A-16: Ao invés de em volta.

Identificamos que a interação se inicia quando o aluno A-16 mobiliza a proposição (PE1) de que a forma do padrão de difração manteria uma correspondência direta com o formato geométrico do orifício. Notamos que essa hipótese é prontamente confrontada por A-10, o qual, mobilizando o trabalho com informações de senso comum (PC1), argumenta que “nunca sai quadrado”. Inferimos que o estudante recorre a analogias do cotidiano, como o formato esférico de bolhas de sabão, para justificar uma suposta tendência da natureza à circularidade, evidência de que os sentidos físicos em construção dialogam com referenciais cotidianos prévios dos estudantes. Além disso, A-16 e A-10 comunicam (PE2) ao professor a existência de

duas hipóteses concorrentes (PC2): a primeira defendendo a alteração do padrão em conformidade com a máscara quadrada e a segunda sustentando a permanência do formato circular.

Após a execução do teste no simulador PhET, observamos que A-16 e A-11 realizam a avaliação do resultado (PE3) e confrontam a evidência visual com suas expectativas prévias. Inferimos que o grupo constata a quebra da simetria circular, o que leva A-16 a construir uma explicação estruturada (PC3) sobre o fenômeno observado. Notamos que o estudante detalha como o efeito de difração se manifesta perpendicularmente às laterais do quadrado, concluindo pela validade da primeira hipótese ao perceber que a projeção não resultou em um círculo perfeito. Corroboramos a perspectiva de Sasseron (2018) ao notar que a autonomia dos sujeitos ao negociarem esses significados é o que caracteriza a prática de legitimação (PE4) dos sentidos físicos construídos pelo grupo sobre a correspondência entre a geometria da abertura e a simetria do padrão de difração. Inferimos, nesse movimento, a articulação entre as práticas científicas e epistêmicas mobilizadas e a construção de sentidos físicos sobre uma propriedade central do fenômeno: a correspondência geométrica entre obstáculo e padrão de difração.

Dando continuidade ao processo de investigação, na **quarta questão** do roteiro, orientamos os estudantes a explorarem a variação de uma variável específica dentro da geometria quadrada: “Com orifício quadrado, crie hipóteses sobre como a figura se comporta se diminuirmos um dos lados”. Com esse questionamento, buscamos fomentar a construção de sentidos físicos sobre como o padrão de difração se altera quando apenas uma das dimensões do obstáculo é modificada. Essa etapa exige que os sujeitos realizem o levantamento de hipóteses ao preverem a deformação da imagem projetada no anteparo em resposta à redução de um dos eixos da máscara.

Observamos que a manipulação dessa nova configuração no simulador PhET Colorado permitiu aos estudantes o trabalho com informações visuais de maior complexidade. A mediação pedagógica focou em garantir que os estudantes conectassem a imagem observada no simulador com o comportamento ondulatório discutido historicamente, preparando o grupo para a formalização da fenda simples como um caso limite do retângulo. Apresentamos, na sequência, a transcrição das

interações discursivas que revelam o processo de negociação de significados e as reações dos estudantes durante a manipulação do formato do orifício no simulador.

A-16: O professor tinha colocado a mesa, a cadeira e o laser. O laser verde apontou para o quadro.
A-11: Hum.
A-16: Aí tinha um vidrozinho retinho. Então parece uma fenda. Se você for olhar assim na pontinha do vidro. E a figura que formou foi um círculo. Não foi, mas aí também não sei, né? Porque tinha só o vidro. Aqui é tudo coberto e só o buraco.
A-11: Calma aí. Então a gente tem que diminuir um dos lados.
A-16: Sim. É porque assim, se for um que nem uma fenda, um negócio muito pequeno, ele não vai conseguir ocupar o negócio todo. Vai ser só um local só, no caso, no meio onde está passando o laser. Porque se você for reparar, A-11, não tem aquelas cabeças daqueles elmos de cavaleiro da idade média. Lembra que tinha algumas que tinham as vendas bem pequenininha assim?
A-11: Sim. Para passar os olhos.
A-16: Aham. Quando a luz do sol batia, você conseguia ver o desenho certinho, mas é porque a luz do sol cobria todo o negócio. Já o laser ele vai focar em um ponto só. Tipo, vamos dar um exemplo. Fenda, pensa que você quer a fenda. O laser vai focar só em um local. Ele não vai ficar em todos os outros, sabe?
A-11: Uhum.
A-16: Aí, por isso que eu acho que vai formar um círculo. Dessa vez vai ser um círculo, porque vai ser.
A-11: Mas nesse quadro, neste quadro está um quadrado.
A-16: Não, porque a gente vai diminuir. É, não, porque aqui, ó, como eu disse, o laser está passando por completo aqui. Se a gente diminuir, no caso, a largura e ficar para os lados, o lado vai aumentar e o tamanho vai diminuir. Então, ele vai focar só em um ponto aqui, continua sendo no meio e não para os lados. que eu acho que vai ficar um ou um círculo ou um quadrado pequenininho dentro. Mas eu ainda acho que vai ser um círculo.
A-11: Eu nem entendi, tá? Eu entendi a parte do negócio que, tipo assim, é um elmo.
A-16: Tem aqueles olhinhos assim.
A-11: Isso aí.
A-16: Aí sabe quando o sol bate e você consegue ver que fica aquele formatinho do dos olhinhos do Elmo, mas só que no sol ele pega a parte toda da figura assim, né? Porque ele bate no capacete todo, então também nos olhos. Já no laser ele está focado em um ponto só, no caso no meiozinho. Se a gente diminuir a largura, é, se a gente aumentar a larga, no caso, fazer e achatar, tá? Ele vai diminuir a altura e aumentar a largura. Aí ele vai ficar meio que grandezinho assim para os lados. Só que como o laser é focado em um ponto só, se no caso no meio, vai formar um círculo, porque está em um ponto só, não nos todos os lados,
A-11: Tá? Nossa, mas eu não vou pensar dessa forma.
A-16: É porque eu lembro que ele fez aquele negócio ali e o do capacete.
A-16: Se diminuímos a largura, o formato vai mudar e vai virar um círculo.
A-16: Vamos tentar. Vamos aumentar a largura.
A-06: Então quando diminui ele aumenta e quando.
A-16: Não depende. Vamos botar aqui. Aqui está um quadrado. Vamos ver a largura. Se a largura é a mesma.
A-11: Mesma coisa. É muda só o lado.
A-10: Quando aumenta diminui e quando diminui, aumenta.
A-16: Basicamente é assim. Se eu aumentar a altura, a largura diminui.
A-11: Ah,
A-06: Isso.
A-16: E se eu diminuir a altura, a largura aumenta. Então é isso.

A-11: Então estamos errados de novo.

A interação discursiva se inicia com a proposição (PE1) do aluno A-16, o qual sugere que o padrão de difração resultante manteria a forma circular. Observamos que essa conjectura é sustentada por informações e experiências prévias (PC1), mobilizando elementos como o experimento demonstrativo realizado pelo professor e a analogia do elmo de “cavaleiro” para justificar o confinamento da luz, evidenciando como o estudante articula sentidos físicos previamente construídos a novos contextos investigativos. Concluímos que A-16 mobiliza a comunicação (PE2) e a construção de explicações (PC3) ao detalhar seu raciocínio, argumentando que o feixe focado não ocuparia a totalidade da abertura, tendendo ao formato circular.

Em contrapartida, notamos que o aluno A-11 realiza a avaliação crítica (PE3) sobre a validade dessas analogias, questionando a complexidade do fenômeno e induzindo o grupo ao levantamento de duas hipóteses concorrentes (PC2): a primeira defendendo a deformação do padrão e a segunda a permanência do círculo. Evidenciamos que, após a execução do teste experimental (PC2) no ambiente virtual, A-11 avalia o resultado (PE3) e constata o erro da hipótese circular diante da evidência visual. Inferimos que A-16, ao processar o *feedback* do simulador, legitima (PE4) o novo sentido físico construído ao descrever com precisão o padrão de difração, o qual agora acompanha as laterais do quadrado, e ao estabelecer uma nova regra empírica (PC1) sobre a relação inversa entre as dimensões da fenda e a dispersão luminosa. A mediação docente, ao permitir que o grupo testasse hipóteses divergentes, favoreceu a autonomia e a percepção de que a luz “responde” às restrições espaciais de forma previsível, mas não intuitiva. Tais movimentos consolidam a construção dos sentidos físicos do grupo sobre a natureza ondulatória da luz e sobre a relação inversa entre a dimensão da fenda e a dispersão do padrão de difração.

Dando continuidade à **quarta questão** sobre a geometria do obstáculo, a letra “c” desafiava os estudantes a preverem o comportamento da luz diante da alteração na orientação espacial da fenda. A letra “c” da questão quatro instigava os grupos com o seguinte questionamento: “Crie hipóteses sobre o que ocorre com a figura projetada se invertermos a fenda, ou seja, trocar o lado que está estreito (Se achar necessário, faça desenhos e esquemas para explicar)”. O intuito dessa etapa foi verificar a

consolidação dos sentidos físicos construídos sobre a ortogonalidade do padrão de difração em relação às dimensões da fenda. Apresentamos, na sequência, a transcrição das interações discursivas e as reações dos estudantes durante a manipulação do simulador.

> A-06: Invertermos? Tipo ao contrário?
> A-16: Eu não entendi.
> Professor: O que que vai acontecer com a figura se vocês trocarem. O lado que está pequeno vocês deixarem grande e o lado que está grande vocês deixarem pequeno. Trocar. Esse daqui está no máximo. Você coloca o que está no máximo no mínimo e o que está no mínimo no máximo. Em vez da figura tá assim.
> A-16: Eu acho que vai ficar que nem aqui só que se aqui está deitado e aqui está em pé vai trocar o que está em pé fica deitado e o que está deitado fica em pé. Então, no caso vai mudar o sentido, né? Esquerda direita.
> A-11: Não. Horizontal e vertical.
> A-16: Isso aí chama o quê? Sentido.
> A-11: Isso aqui, isso aqui é sentido horizontal, vertical.
> A-16: É porque a direção é esquerda e direita.
> Professor: Na mesma direção você tem 2 sentidos. Então a direção vertical você tem o sentido de baixo para cima e o sentido de cima pra baixo. Na direção horizontal. Você tem sentido da esquerda para a direita e da direita para esquerda.
> A-11: É sentido. Então.
> A-16: É sentido.
> Professor: É direção.
> A-16: É direção. Tá. Então, acho que o que vai acontecer é a direção vai ficar ao contrário da figura.
> A-11: Tá. A direção então vai ficar ao contrário da figura.
> A-16: É difração. A difração vai ficar ao contrário da figura. Vamos lá. Vou diminuir a largura. E vou aumentar a altura. Foi.
> A-11: Tá certo.
> A-16: A nossa hipótese estava certa.

Notamos que a interação discursiva se inicia com a proposição (PE1) do aluno A-16, o qual sugere que o padrão de difração sofreria uma inversão geométrica ao se alterar a orientação da fenda. Observamos que, ao comunicar (PE2) sua hipótese ao coletivo, A-16 é prontamente corrigido por A-11, que realiza a avaliação (PE3) da precisão da linguagem utilizada pelo colega. Logo, A-11 exerce um papel mediador ao corrigir o uso do termo “sentido” para “horizontal e vertical”, evidenciando uma preocupação com a clareza descritiva do fenômeno e contribuindo para o refinamento da linguagem por meio da qual os sentidos físicos são comunicados pelo grupo.

Portanto, a partir da intervenção do professor, que fornece o trabalho com informações conceituais (PC1) sobre a distinção entre “direção” e “sentido”, A-16 reformula sua proposição original. Inferimos que o estudante mobiliza uma nova comunicação (PE2)

ao prever que a direção da difração se manifestaria de forma ortogonal à orientação da fenda. Evidenciamos que, ao procederem ao teste experimental (PC2) no simulador PhET, os estudantes confrontam suas expectativas com os resultados do simulador virtual. Notamos que A-11 realiza a avaliação do resultado (PE3) ao atestar o êxito da previsão, enquanto A-16 legitima (PE4) a validade do sentido físico construído pelo grupo ao constatar a correção da hipótese formulada. Caracterizamos, portanto, uma articulação bem-sucedida entre as práticas mobilizadas e a construção do sentido físico sobre a relação ortogonal entre a orientação da fenda e a orientação do padrão de difração projetado.

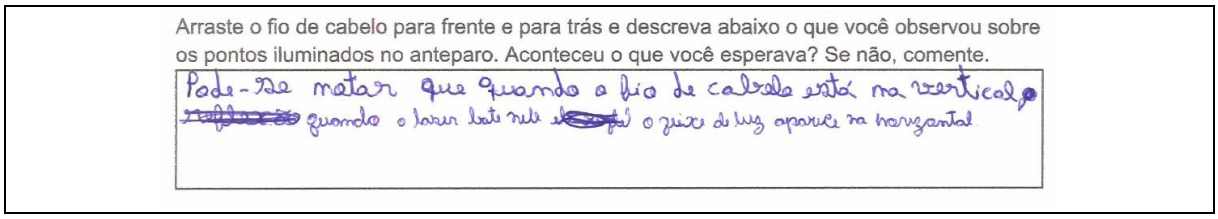
Tais avanços na articulação entre teoria e observação preparam os grupos para a transição definitiva da simulação para a prática experimental com fendas reais, cujas interações e registros analisaremos na seção subsequente.

6.1.5 Atividade 4 - Laboratório aberto: mensurando a espessura do fio de cabelo

Inicialmente, apresentamos o aparato experimental e seus componentes, organizando a turma em três grupos de trabalho. Para garantir a autonomia na investigação, cada grupo contou com um kit experimental completo, composto por laser (fontes de luz monocromática), suportes para o laser e para o fio de cabelo, trenas de três metros e réguas de trinta centímetros. Constatamos que a disponibilização desses recursos teve como objetivo oferecer suporte material adequado para o trabalho com informações e dados (PC1) e para a construção de sentidos físicos sobre o fenômeno a partir de medidas quantitativas reais.

Em seguida, esclarecemos que o objetivo central da atividade seria determinar o diâmetro de um fio de cabelo por meio da análise do padrão de difração observado no anteparo. Explicamos aos estudantes que, nesta etapa, eles atuariam como pesquisadores, assumindo a responsabilidade de observar o fenômeno, descrevê-lo, debater com seus pares e elaborar hipóteses fundamentadas sobre o comportamento da luz ao contornar o obstáculo. Ressaltamos que a intenção de os posicionar como investigadores em um trabalho colaborativo, distribuídos nos três grupos de pesquisa, visava desmistificar a visão do cientista como um sujeito isolado, promovendo a construção de sentidos sobre a ciência como uma prática coletiva e social.

No trecho destacado abaixo, apresentamos o registro do Grupo 1 referente à etapa inicial da Atividade 4, na qual os estudantes foram instigados a observar as alterações no padrão de difração ao movimentarem o fio de cabelo diante do feixe de laser. Verificamos que o grupo caracterizou a relação de ortogonalidade entre o obstáculo e a imagem projetada, registrando que, ao posicionarem o cabelo na vertical, o padrão de difração se estendia na horizontal. Desta forma, inferimos que essa percepção é um indicativo da construção dos sentidos físicos pelos estudantes sobre a relação entre a orientação do obstáculo e a orientação do padrão de difração, funcionando como o ponto de partida necessário para a transição entre a observação qualitativa e a prática experimental quantitativa.



Sistematizando a preparação para a prática experimental, corroboramos a perspectiva de Sasseron (2018) ao notar que o engajamento intelectual dos estudantes foi acompanhado por uma transição na comunicação de ideias (PE2), que evoluiu do entusiasmo inicial para uma postura mais analítica, conforme evidenciado nos episódios de interação discursiva apresentados a seguir:

Episódio 1: Coleta dos dados experimentais

A-03: Temos um fato interessante aqui sobre o fio de cabelo posto na no suporte e deu a entender que quando o laser bate no fio de cabelo, se o fio de cabelo estiver preso na vertical, o laser vai sair, o resultado na horizontal.
A-15: Exato, senhor A-03.
A-03: E se ele estiver na horizontal, ele vai refletir na parede, na vertical.
A-17: Pode-se notar quando o fio de cabelo está na vertical. Quando o laser bate nele, o feixe de luz aparece na horizontal.
A-10: Tem que medir a distância entre o fio de cabelo e o anteparo usando a trena.
a-15: O anteparo é a parede?
A-17: É.
A-15: Mas medir só do laser até o cabelo?
A-15: Professor vem aqui fazendo um favor.
Professor: Oi, em que eu posso ajudar?
A-17: A gente não entendeu. Tá pedindo para medir o fio de cabelo?

> Professor: Vocês vão medir a distância até o anteparo. Essa primeira coluna aqui é a distância entre o fio de cabelo e a parede.
> A-10: Ok.
> A-17: Deu quanto?
> A-03: 1,22.
> Professor: O ΔY que pede é a distância entre o meio de uma franja e o meio da outra. De preferência essa que está mais próxima do centro.
> A-15: Do fio de cabelo da parede da 1,22 m.
> A-17: É 1 cm de distância entre uma linha e outra.
> A-10: Não, pô. Você vai medir o vácuo esse zero está pegando aqui.
> A-15: Então pronto. Então deu 1 cm.
> A-10: 0,7.
> A-15: Eu peguei essa ponta aqui de um vácuo até a ponta antes de começar a parte do laser.
> A-17: Você pegou do primeiro vácuo, depois você pegou do segundo?
> A-15: Se fosse mais um seria dessa ponta até a outra lá.
> A-17: Calma aí. Aí se você colocar ele certinho, a distância fica a mesma entre todas as linhas.
> A-15: É ali, é pequenininha ali, fica bem pequena aqui, ó.
> A-17: Deu quanto?
> A-10: 1,57. Não, 1,54.
> A-15: Enquanto você vai distanciando, aumenta a distância dele também.
> A-03: Deu 5 mm.
> Professor: Conseguiram?
> A-17: Sim.
> Professor: Vocês mediram a distância de quê?
> A-17: Do cabelo até a parede. E entre um vazio e o outro
> Professor: É entre o meio de um ponto de luz e o outro.
> Se formos comparar com as medidas dos colegas, temos que eliminar as duas medidas de vocês, porque elas estão muito fora do padrão de medida.
> A-10: Tá. Aqui é 1,22.
> A-17: Deu quanto?
> A-10: 1 cm.

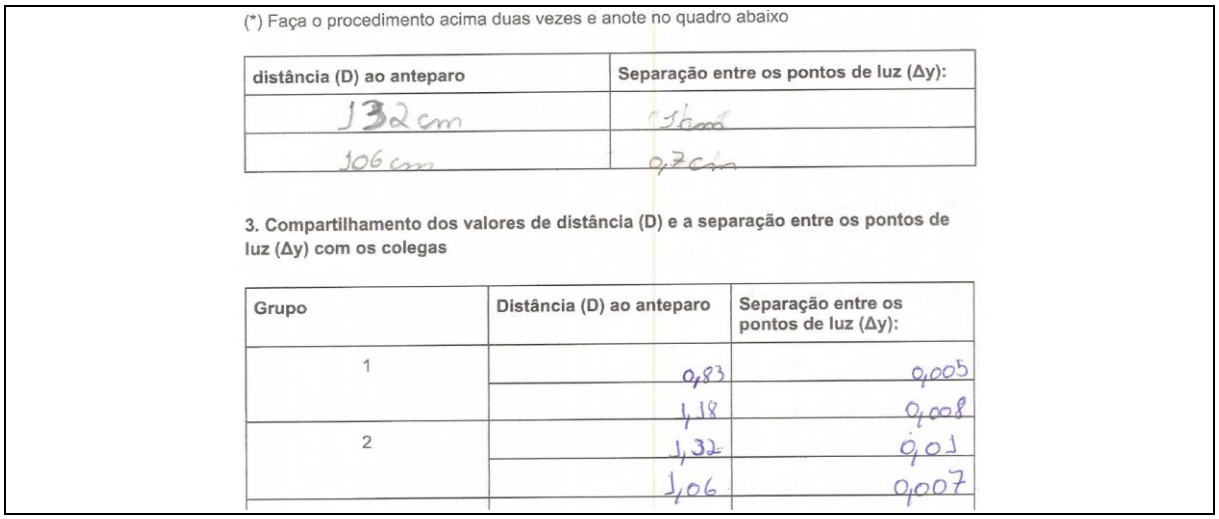
Do trecho destacado acima, identificamos que a interação discursiva se inicia com a proposição (PE1) e a comunicação (PE2) do aluno A-03, que sintetiza a principal observação do fenômeno: a ortogonalidade entre o obstáculo e o padrão projetado. Observamos que os estudantes A-15 e A-17 legitimam (PE4) essa constatação, consolidando a percepção de que, se o fio de cabelo estiver posicionado na vertical, a difração resultante manifestar-se-á na horizontal. Assim, os estudantes iniciam o levantamento e teste de hipóteses (PC2) ao tentarem quantificar a distância (D) entre os componentes do aparato. Notamos que o aluno A-15 exerce a prática de avaliação (PE3) ao questionar os limites da medição (“só do laser até o cabelo”), o que conduz o coletivo a solicitar a mediação docente para dirimir a dúvida metodológica.

Inferimos que, a partir da intervenção do professor, que fornece o trabalho com informações metodológicas (PC1) sobre a medição correta da distância (D) até o anteparo, os estudantes mobilizam a comunicação (PE2) dos primeiros dados

coletados (1,22 m e 1 cm). Contudo, evidenciamos que a mediação docente atua novamente na avaliação crítica (PE3) desses dados, descartando as medidas por estarem em desacordo com os padrões de precisão esperados para o experimento. Notamos que essa intervenção estabelece um limite de confiabilidade para a construção de explicações (PC3) e compele o grupo a refazer o teste (PC2) de coleta de dados, contribuindo para a construção de sentidos físicos articulados ao rigor necessário à prática científica.

No trecho destacado a seguir apresentamos os dados coletados pelo Grupo 2 durante a etapa de mensuração da espessura do fio de cabelo, evidenciando a organização das variáveis experimentais após a orientação do professor. Verificamos que os estudantes, demonstrando atenção ao roteiro investigativo, realizaram duas medições distintas para a distância entre o obstáculo e o anteparo (D), bem como duas medidas para a separação entre as franjas de difração (Δy), sistematizando tais valores em uma estrutura tabular. Desta forma, inferimos que a construção dessa tabela reflete a articulação entre as práticas científicas de trabalho com informações (PC1) e a construção de sentidos físicos sobre a necessidade de replicação experimental como critério de confiabilidade dos resultados.

Além disso, notamos que a organização dos dados permitiu que os estudantes transitassem da coleta bruta para a fase de tratamento analítico das informações. Do mesmo modo, verificamos que essa dinâmica favoreceu o desenvolvimento da prática epistêmica de comunicação (PE2), manifestada na organização visual e escrita dos dados, e preparou o terreno para a legitimação (PE4) das conclusões matemáticas subsequentes. Assim, caracterizamos que o registro cuidadoso das variáveis denota uma reorganização dos sentidos físicos do grupo sobre o que constitui o fazer científico, passando a valorizar a precisão como critério de validação.



(*) Faça o procedimento acima duas vezes e anote no quadro abaixo

distância (D) ao anteparo	Separação entre os pontos de luz (Δy):
132 cm	1cm
106 cm	0,7cm

3. Compartilhamento dos valores de distância (D) e a separação entre os pontos de luz (Δy) com os colegas

Grupo	Distância (D) ao anteparo	Separação entre os pontos de luz (Δy):
1	0,83	0,005
	1,18	0,008
2	1,32	0,01
	1,06	0,007

Episódio 2: Determinação da espessura do fio de cabelo

Identificamos que a nova problematização levantada pela mediação docente teve como objetivo central aprofundar a construção de sentidos físicos sobre as propriedades ondulatórias da luz e sua correlação direta com o padrão de difração observado no anteparo. Inicialmente, instigamos os grupos a discriminarem quais grandezas do aparato experimental poderiam ser alteradas, buscando mobilizar o trabalho com informações e conhecimentos prévios (PC1) sobre as variáveis que regem o sistema físico, conforme evidenciamos na transcrição das interações discursivas apresentada a seguir:

> Professor: Além do fio de cabelo, que outra grandeza física vocês poderiam mudar? Vocês podem lembrar do simulador que usamos na atividade 3.
> A-15: Eu acho que é a espessura do laser e a distância ao cabelo.
> Eu acho que o que pode mudar é o fio de cabelo. Pode alterar por causa que tem fio de cabelo que é mais grosso. A distância eu acho que altera também. E a espessura do raio laser, do feixe de luz do raio.
> A-17: Isso de um cabelo ser maior que o outro acho que não faz muito sentido, porque se você for pegar para pensar, se o fio de cabelo for maior que o outro, ele vai ter mais, ele vai ter mais facilidade em focar o laser, o raio do que vem do laser. nele.
> A-15: Não.
> A-17: Mas não vai mudar a espessura.
> A-15: Não tá falando de focar a diferença. Vai ter.
> A-17: Sim, obviamente vai ter diferença, mas vai ser mínima.
> A-15: Tudo isso conta, é isso que eu acho. Eu acho que o que pode alterar pode ser a espessura do fio de cabelo. Isso altera porque tem fio de cabelo que é mais grosso e alguns que são mais finos. É a distância que o raio laser vai estar e o fecho de Luz que sai do raio do laser, a espessura do feixe de luz.,
> Professor: Vamos lá. Chegaram à conclusão de mais alguma grandeza física que vai influenciar nas franjas de luz?
> A-02:Sim.

> Professor: O que é?
> A-02: A potência do laser e o ângulo dele.
> A-10: O feixe de luz do laser, a distância e o fio de cabelo.
> Professor: Estão no caminho certo. Já acertaram o fio de cabelo. Citaram o ângulo. Porém isso deixa os lados desiguais. O ideal é mantermos o ângulo de 90º, que foi o que eu tentei ajustar com vocês para melhorar as medidas.
> Professor: Mas além disso, que característica do laser que eu posso mudar?
> A-15: O feixe de luz.
> Professor: Como que eu mudo o feixe de luz? Mudar o que do feixe de luz?
> A-16: intensidade.
> Professor: Se a luz brilhar mais forte ou mais fraca. Isso influencia na intensidade das franjas mas não na sua posição.

No trecho destacado acima, o professor sintetiza a explicação (PC3), esclarecendo que a alteração na intensidade, ou seja, o brilho mais forte ou mais fraco do laser, influencia apenas a luminosidade das franjas de difração, mas não altera sua posição espacial no anteparo. Assim, esse momento evidencia como a mediação docente auxilia os estudantes a reconhecerem os limites de suas hipóteses (PC2), permitindo-lhes diferenciar parâmetros que afetam a visibilidade do fenômeno daqueles que determinam a geometria do padrão de difração. Observamos que essa intervenção foi importante para que os estudantes exercessem a prática de avaliação (PE3), descartando variáveis espúrias na reorganização dos sentidos físicos construídos sobre o comportamento ondulatório.

Após a discussão sobre a intensidade, o redirecionamento da investigação para a influência do comprimento de onda (λ) no padrão de difração permitiu um avanço na sofisticação do debate. O diálogo a seguir evidencia o esforço dos estudantes em correlacionar a cor do laser às grandezas matemáticas necessárias para o cálculo do diâmetro do fio de cabelo.

> A-16: De outra cor?
> Professor: Se mudarmos a cor do laser? No simulador, quando mudávamos o comprimento de onda, o padrão que formava, ficava menor ou maior?
> A-16: O roxo era maior.
> Professor: A ideia é a gente relacionar essas duas grandezas físicas.
> A gente tem algumas informações. A cor desse laser tem um comprimento de onda que é dado pelo fabricante, que é 532nm, ou seja 532 x 10^{-9}m?
> A-16: Então que eu tenho que dividir um número com 532 que vai dar 99 é isso?
> Professor: Na verdade você sabe que tem uma divisão, só que há duas possibilidades. Temos que eliminar a unidade de medida para dar a inclinação da reta. Só que eu posso ter a espessura do fio de cabelo pelo comprimento de onda do laser ou o comprimento de onda do laser dividido pela espessura do fio de cabelo.
> A-16: eu acho melhor o comprimento de onda do laser dividido pela espessura do fio de cabelo.

> Professor: Mas qual a relação? Aí a importância do experimento do simulador. Porque a relação que a gente vai ter do 99. Vamos lembrar do simulador. Quando eu aumentava a espessura do furo, o padrão de interferência aumentava ou diminuía?
> A-16: Calma aí, depende. Se eu aumentar o furo, o espaço da luz aumenta.
> A-10: Era o contrário. Diminuir.
> Professor: Então quanto mais grosso o cabelo, faz diminuir a franja. Podemos fazer também como comprimento de onda. Se eu aumentar o comprimento de onda para vermelho, aumenta ou diminui o tamanho da franja luz?
> A-16: Aumenta.
> Professor: A gente vai ter uma relação proporcional e uma inversamente proporcional. Então quando se diminui o comprimento de onda do laser ele diminui o delta y. Logo o delta y é proporcional ao comprimento de onda. E quando eu aumento a espessura do fio de cabelo, diminuo a franja. O delta y é inversamente proporcional a espessura do fio de cabelo. Vamos ter assim duas possibilidades de equação. Então qual vai ser a equação que vamos usar?
> A-16: A segunda
> A-15: A primeira:
> A-17: A primeira.
> A-14: A segunda
> Professor: Se é proporcional às grandezas devem estar na mesma linha na equação.
> A-16: Então é a primeira?
> Professor: Sim.
> A-15: A resposta certa é a que eu falei.
> Professor: Sabemos que esse lado da equação é 99. O lambda a gente sabe que é 532×10^{-9}. E aí é só calcular a espessura do fio de cabelo.

Identificamos que, neste segundo episódio, instigamos os estudantes a realizarem a proposição de ideias (PE1) acerca das grandezas físicas que, para além da distância e da separação das franjas, influenciariam na forma do padrão de difração. Observamos que o aluno A-15 comunica (PE2) sua hipótese central, integrando a espessura do fio de cabelo e a distância do laser como variáveis determinantes. Notamos que A-17 mobiliza a prática de avaliação (PE3) sobre a relevância dessa proposição, enquanto A-15 realiza a legitimação (PE4) de seu ponto de vista ao asseverar a interdependência dos fatores citados. Desta forma, o debate coletivo permitiu o resgate do trabalho com informações (PC1) sobre o comprimento de onda (λ), elemento essencial para a construção de sentidos físicos sobre a relação matemática entre as grandezas envolvidas no fenômeno.

Evidenciamos que a mediação docente utilizou as informações prévias (PC1) obtidas na etapa de simulação virtual para subsidiar a construção de explicações e justificativas (PC3) sobre as relações de proporcionalidade envolvidas. Inferimos que, ao estabelecer que a difração é diretamente proporcional ao comprimento de onda e inversamente proporcional à espessura do obstáculo, o professor forneceu a base

para o levantamento e teste de hipóteses (PC2) mais robustas, articulando as práticas científicas mobilizadas à construção de sentidos físicos sobre as relações de proporcionalidade que governam o fenômeno. Notamos que o grupo se engajou na testagem conceitual (PC2) da estrutura da fórmula, momento em que A-15 e A-16 propuseram organizações algébricas concorrentes. Por fim, corroboramos que o fornecimento de critérios de avaliação (PE3) por parte do professor, pautados na linearidade de grandezas proporcionais, permitiu que A-15 e A-16 realizassem a legitimação (PE4) da equação correta, consolidando o sentido físico construído pelo grupo sobre a relação matemática entre comprimento de onda, separação das franjas e espessura do obstáculo difrator.

Tais interações preparam o caminho para a aplicação numérica mais robusta, cujos procedimentos de cálculo discutiremos na próxima subseção dedicada à medida do comprimento de onda de um laser

6.1.6 Atividade 5 - Prática experimental - medida do comprimento de onda do laser

Inicialmente, apresentamos aos estudantes o aparato experimental e seus elementos constitutivos: um laser de baixa potência, um fio de cabelo humano fixado em suporte próprio, régua ou fita métrica, anteparo branco ou papel milimetrado, além de calculadora científica, caneta e papel para registro das observações. Esses materiais foram disponibilizados para que os próprios estudantes realizassem a montagem do experimento e observassem a projeção do padrão de difração sobre o anteparo, permitindo-nos acompanhar os sentidos físicos emergentes durante esse primeiro contato com o fenômeno.

Em seguida, esclarecemos que o objetivo central da atividade seria a medição das franjas do padrão de difração e o cálculo do comprimento de onda da luz emitida pelo laser. Explicamos, ainda, que o padrão produzido pelo fio de cabelo é análogo ao gerado por uma fenda simples, em virtude do Princípio de Babinet, segundo o qual um obstáculo e uma abertura de mesma dimensão produzem padrões de difração equivalentes nas regiões afastadas da geometria central. Essa informação foi introduzida de modo sucinto, com o propósito de preservar o caráter investigativo da

atividade: fornecemos o princípio como uma âncora, sem antecipar os procedimentos de cálculo que os estudantes deveriam, eles próprios, percorrer.

Após a organização dos grupos e o contato inicial com os materiais, os estudantes deram início ao procedimento experimental de projeção e coleta de dados. O diálogo transcrito a seguir retrata o momento em que os grupos buscaram padronizar a medição das franjas de difração projetadas no anteparo e estabelecer as distâncias necessárias para a aplicação da equação matemática. Nesse episódio, evidenciamos o esforço coletivo para transformar a observação visual qualitativa em medidas quantitativas precisas, processo que articula as práticas científicas e epistêmicas mobilizadas à construção de sentidos físicos sobre o fenômeno, em consonância com Sasseron (2018), que descreve essa transição entre a exploração fenomenológica e a construção de dados passíveis de interpretação científica.

> A-02: Ajuste a distância aproximadamente para 1m. O laser está no fio. Vocês estão vendo os tracinhos?
> A-11: Sim isso
> A-16:Meça a distância entre o centro da franja central (a franja mais brilhante) e o centro de uma franja escura adjacente. Esta distância será chamada de (y).
> A-02: O Y de um começo da parte escura. A até o final da parte escura. Entendeu?
> Eu acho que é isso.
> Alunos chamam o professor.
> A-10: Oi. Medimos de duas formas. A gente mediu entre esses dois. Tá vendo?
> A-02: É da parte escura ou da parte clara?
> Professor: Você vai pegar do centro de uma franja clara até o centro da outra.
> A-02: Ah, é metade.
> A-02: Tá. Então esse aqui.
> A-11: Qual a distância do fio de cabelo até a parede.
> A-02: 1,11 m. E a medida da franja?
> A-11: 1 cm.
> A-02: É, então tem 1 cm.
> Professor: Agora que fizemos as medidas devemos usá-la para calcular o comprimento de onda do laser. A única coisa que vocês têm que lembrar para esse cálculo é que todas as medidas têm que estar em metro.

Nesse episódio identificamos o desenvolvimento articulado das práticas epistêmicas e científicas, as quais fundamentam a construção, pelos estudantes, dos sentidos físicos associados à medida experimental do fenômeno. As interações discursivas permitiram evidenciar, sob a mediação docente, a proposição (PE1) de métodos de aferição por parte de A-16 e A-02, bem como a avaliação (PE3) comparativa de A-10 acerca das diferentes estratégias de medição no anteparo. Notamos que esse

processo culminou na legitimação (PE4) de ideias por A-02, o qual reorganizou os sentidos físicos previamente construídos sobre a delimitação da franja central após o debate com seus pares. Desta forma, o levantamento e teste de hipóteses (PC2) e o intenso trabalho com informações (PC1) tornaram-se nítidos no momento em que A-11 e A-02 sistematizaram as distâncias e larguras das franjas (1,11 m e 1 cm).

Inferimos que este momento analítico evidencia como tais práticas se inter-relacionam na construção de sentidos físicos sobre o fenômeno por meio de dados válidos (Sasseron, 2018). Como defendem Jiménez-Aleixandre e Crujeiras (2017), esse engajamento concomitante é fundamental para que os estudantes se aproximem dos elementos da cultura científica, transformando a observação fenomenológica em evidência quantificável. Evidenciamos que a autonomia dos sujeitos, ao negociarem os critérios de precisão, contribui para a construção de sentidos físicos articulados à percepção de que a ciência é uma construção social e rigorosa.

Ao final da etapa de coleta e processamento de dados, promovemos um confronto entre os valores obtidos pelos grupos e os dados teóricos referentes ao espectro eletromagnético para o laser de cor vermelha. Esse momento de reflexão visou instigar os estudantes a realizarem a avaliação (PE3) de possíveis fontes de erro experimental e a discutirem como diferentes variáveis, como a geometria do objeto e a intensidade da fonte, interferem ou não na forma do padrão de difração observado. Observamos que essa mediação estimulou o trabalho com informações (PC1) e o levantamento e teste de hipóteses (PC2) sobre a precisão instrumental, permitindo que os sujeitos comunicassem (PE2) suas percepções sobre a discrepância entre o valor experimental e o valor teórico. Tais reflexões sobre o controle de variáveis e a fidelidade dos modelos teóricos ficaram nítidas nas interações discursivas que apresentamos na transcrição a seguir:

> Professor: No espectro eletromagnético o comprimento de onda do vermelho é entre 625 e 740nm. Esses daqui são os resultados de vocês. O que pode ter feito os valores darem diferentes?
> A-16: Eu acho que é a espessura do cabelo.
> A-02: E a gente concorda.
> A-16: Porque na minha cabeça, se fosse mais grosso, acho que poderia aumentar um pouco mais.
> A-02: O laser é mais fraco.
> Professor: A intensidade vai fazer a gente ver melhor ou pior, mas não influencia na medida.

Identificamos, neste trecho, o desenvolvimento das práticas epistêmicas (PE1 a PE4) e das práticas científicas (PC1 a PC3), as quais emergem de forma integrada na construção dos sentidos físicos sobre as fontes de discrepância experimental. As interações discursivas permitiram evidenciar que, a partir da mediação docente sobre a discrepância entre os valores obtidos pelos grupos e o espectro teórico, os estudantes iniciaram a proposição e comunicação (PE1; PE2) de hipóteses explicativas. Notamos que o aluno A-16 mobiliza a construção de explicações (PC3) ao correlacionar a espessura do obstáculo à forma do padrão de difração observado, enquanto A-02 mobiliza a avaliação (PE3) crítica das condições experimentais ao apontar que “o laser é mais fraco”. Caracterizamos, nesse movimento, a articulação entre as práticas mobilizadas e os sentidos físicos em construção, ainda que a hipótese do estudante sobre a intensidade do laser tenha sido reorganizada pela mediação docente, que esclareceu que a intensidade afeta a visibilidade, mas não a posição das franjas.

Sistematizando essa atividade, corroboramos a percepção de que a mediação do professor, ao tensionar os resultados, favoreceu a reorganização dos sentidos físicos dos grupos no sentido de refinar seus critérios de prova. Notamos que a capacidade de discriminar formas geométricas de variáveis de intensidade foi o diferencial para a consolidação dos sentidos físicos sobre o fenômeno da difração. Essa habilidade de leitura fenomenológica será trabalhada na etapa seguinte, na qual os discentes enfrentarão o desafio inverso de identificar a forma dos obstáculos desconhecidos a partir da assinatura visual de seus padrões de difração, conforme discutiremos na seção dedicada à identificação da geometria das aberturas pelos padrões de difração.

6.1.7 Atividade 6 - Questões abertas: Identificação da geometria das aberturas pelos padrões de difração

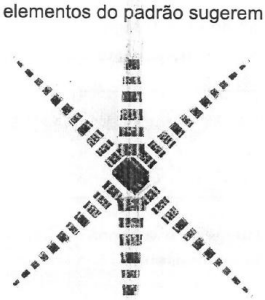
Nessa atividade, apresentamos aos estudantes um roteiro contendo padrões de difração gerados pela passagem de um feixe laser por diferentes aberturas (ver Apêndice I). O material apresentado continha ilustrações referentes a aberturas com diferentes geometrias: circular, quadrada, retangular, hexagonal e octagonal, que visavam oferecer suporte ao trabalho com dados e informações visuais (PC1). A

seleção dessas geometrias teve por objetivo criar as condições para que os estudantes construíssem sentidos físicos sobre a relação sistemática entre a forma do padrão projetado e a geometria do objeto difrator, relação essa que constitui o núcleo conceitual desta atividade da SEI.

Com o propósito de analisar como as práticas epistêmicas e científicas mobilizadas nesta etapa contribuíram para a construção desses sentidos físicos, sistematizamos os resultados obtidos pelos grupos na tarefa de identificação das geometrias das aberturas a partir dos padrões de difração apresentados. Essa sistematização não se restringe a uma contabilização de acertos e erros, mas constitui, ela própria, um instrumento analítico que nos permite inferir que sentidos físicos sobre a relação entre geometria do objeto difrator e simetria do padrão de difração projetado foram mais acessíveis à construção pelos estudantes e quais demandaram um esforço cognitivo mais elevado.

No trecho destacado abaixo, ilustramos o registro de uma estudante referente à Atividade 6, na qual se solicitava a identificação da geometria de uma abertura a partir da observação de um padrão de difração com simetria hexagonal. Verificamos que a estudante logrou êxito na tarefa ao aplicar, de forma analítica, o raciocínio desenvolvido nas etapas anteriores da SEI, associando a configuração das franjas de luz à quantidade de lados do polígono difrator. Desta forma, inferimos que a estudante não apenas memorizou padrões isolados, mas construiu sentidos físicos articulados à lógica de correspondência geométrica, demonstrando uma evolução significativa na compreensão da natureza ondulatória da luz e da simetria do fenômeno da difração.

Figura 4 - Considerando o padrão de difração apresentado nesta figura, qual é a provável geometria da abertura? Quais elementos do padrão sugerem essa forma específica?

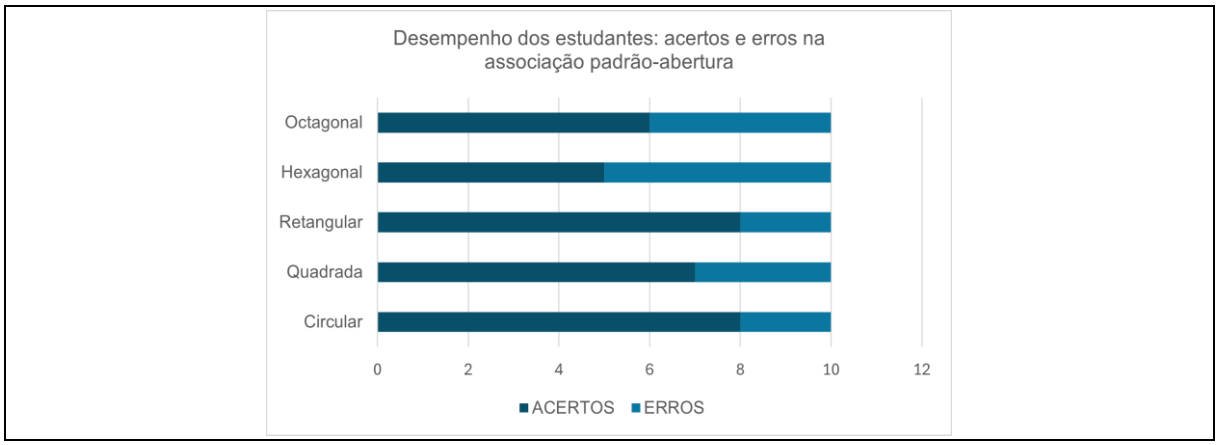


Hexagono. Por conta da quantidade de lados, seguindo o raciocinio do quadrado e retângulo.

A partir da análise das respostas registradas nos questionários, inferimos que os estudantes tiveram êxito em distinguir uma abertura quadrada de uma retangular por meio da observação da assimetria das franjas de difração. Verificamos que os estudantes identificaram que a distribuição de intensidade luminosa ocorre de forma ortogonal aos respectivos lados das fendas, notando que fendas mais estreitas produzem padrões mais alongados naquela direção. Desta forma, caracterizamos o desenvolvimento de práticas epistêmicas de avaliação (PE3) e legitimação (PE4), uma vez que os estudantes utilizaram a geometria das franjas como evidência empírica para sustentar os sentidos construídos sobre a natureza do objeto difrator, articulando, assim, as práticas mobilizadas à elaboração de explicações sobre o fenômeno.

Assim, organizamos por meio do Gráfico 2, o desempenho dos estudantes no processo de associação entre o padrão de difração observado e a respectiva geometria da abertura na Atividade 6. Notamos que os estudantes realizaram o trabalho com dados e informações (PC1) visuais com maior êxito ao associarem os padrões gerados por aberturas de geometria circular, quadrada e retangular. Para esses padrões de difração, o número de acertos foi significativamente superior ao de erros, com médias aproximadas de 8, 7 e 7 acertos em 10 tentativas, respectivamente, o que evidencia uma consolidação dos sentidos físicos construídos pelos estudantes, manifestada na proposição de ideias (PE1) baseada na ortogonalidade e na simetria radial simples.

Gráfico 2 - Desempenho dos estudantes: acertos e erros na associação padrão-abertura



Fonte: Autor (2026)

Em contrapartida, inferimos que o reconhecimento das geometrias de maior complexidade, como a hexagonal e a octogonal, representou um desafio cognitivo e epistêmico superior para os grupos. Observamos que o número de erros nesses padrões de difração aproximou-se ou superou o de acertos, com a geometria hexagonal apresentando cerca de 5 erros e a octogonal cerca de 4 erros em 10 tentativas. Caracterizamos que essa dificuldade na avaliação (PE3) de evidências visuais decorre da similaridade na forma entre as “estrelas” de difração de polígonos com múltiplos eixos de simetria, exigindo dos estudantes um levantamento de hipóteses (PC2) mais refinado para a construção de sentidos físicos sobre detalhes estruturais mais sutis do fenômeno.

Desta forma, o elevado índice de acertos nos padrões circular, quadrado e retangular reflete uma consolidação dos sentidos físicos sobre o fenômeno, visto que tais geometrias foram previamente exploradas tanto na simulação computacional (Atividade 3) quanto no ambiente de laboratório aberto (Atividade 4). Podemos inferir que esse desempenho favorável decorre de um contínuo trabalho com informações e dados (PC1), que mediou a construção, pelos estudantes, dos sentidos físicos articulados à proposição de ideias (PE1) sobre o padrão de difração. Além disso, o êxito na identificação das geometrias hexagonal e octogonal, embora ligeiramente inferior em termos numéricos, é academicamente notável.

Observamos que essas aberturas não foram trabalhadas de forma direta nas etapas precedentes, o que evidencia que os estudantes mobilizaram a avaliação (PE3) e o levantamento de hipóteses (PC2) em situações novas. Notamos que os estudantes conseguiram transpor os sentidos físicos construídos sobre a relação entre a geometria da fenda e a distribuição luminosa, demonstrando a capacidade de construir explicações (PC3) para problemas de maior complexidade. Caracterizamos esse movimento discursivo e cognitivo como uma articulação bem-sucedida entre práticas científicas e epistêmicas, com destaque para a legitimação (PE4), e a construção de sentidos físicos sobre regras gerais de simetria, transcendendo a mera repetição de padrões.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo principal analisar como o desenvolvimento de práticas epistêmicas e científicas, no contexto de uma sequência de ensino investigativa sobre difração da luz, contribui para a construção de sentidos físicos sobre o fenômeno em estudantes de uma turma do Ensino Médio. Em consonância com esse propósito, partimos da premissa de que uma estrutura didática pautada no Ensino por Investigação promoveria o engajamento intelectual dos estudantes e mediaria o desenvolvimento de tais práticas, articulando-as à construção de sentidos sobre o fenômeno.

Ao longo da intervenção pedagógica, verificamos que os objetivos propostos foram alcançados de maneira satisfatória. A SEI foi elaborada e implementada com êxito, e a análise dos dados coletados permitiu identificar e caracterizar, por meio das interações dos estudantes, como as práticas científicas e epistêmicas se desenvolveram e como se articularam à construção de sentidos físicos sobre a difração da luz. Dessa forma, confirmamos nossa hipótese inicial, uma vez que identificamos a mobilização dessas práticas durante a resolução das situações-problema propostas em sala de aula. A imersão dos estudantes em um ambiente investigativo permitiu a transição ativa da exploração fenomenológica para a construção de argumentos matemáticos e científicos fundamentados.

Quanto à frequência e aos momentos de surgimento das PEs e PCs, mapeamos uma dinâmica clara ao longo das atividades. Em todo o desenvolvimento da SEI, a PE2 e a PC1 constituíram o fio condutor que instigou os estudantes na busca por respostas, manifestando-se de forma contínua, desde a análise de textos históricos até a coleta experimental de dados com trenas e lasers. Paralelamente, a PC2 e a PE1 funcionaram invariavelmente como “gatilhos’’ iniciais a cada novo ciclo investigativo.

Sistematizando o papel da PE3, notamos que esta emergiu fortemente nos momentos de conflito cognitivo, atuando como uma ponte de transição na construção dos sentidos físicos. Sua manifestação foi mais evidente quando os estudantes precisaram confrontar hipóteses prévias com resultados experimentais ou com o simulador PhET, identificando discrepâncias e verbalizando erros. Nesse processo, os

sujeitos avaliaram suas ideias iniciais para modelar e remodelar os sentidos construídos a partir das evidências observadas. Já a PE3 e a PE4 manifestaram-se predominantemente nos momentos de síntese, representando o ápice do processo de construção coletiva de sentidos, quando o grupo atinge o consenso e formaliza leis ou equações por meio do diálogo coletivo.

Um resultado relevante foi que a mobilização de PE3 e PE4 encontrou uma barreira significativa quando aplicada a conceitos puramente epistemológicos. Na Atividade 2, a questão que exigia reflexão sobre a natureza progressiva da ciência resultou no maior índice de erros, evidenciando que legitimar abstrações históricas exige um esforço cognitivo superior ao de legitimar sentidos sobre fenômenos físicos concretos. De forma análoga, na Atividade 6, o uso de PC2 e PE3 para aberturas com geometrias desconhecidas e complexas (hexagonal e octogonal) apresentou maior dificuldade em comparação às formas familiares já trabalhadas. Evidenciando, assim, que os estudantes têm mais dificuldades em construir sentidos em situações que exigem maior grau de abstração.

Os resultados trazem perspectivas inovadoras para o ensino de óptica no ensino médio ao demonstrarem que a construção de sentidos sobre a difração não precisa ser reduzida à memorização de conceitos e equações. A pesquisa evidenciou que a estratégia de alterar variáveis simples (como trocar uma lanterna por um laser ou variar o tamanho da fenda no simulador) mobilizou modelos mentais intuitivos e forçou os estudantes a construírem seus próprios sentidos físicos por meio da elaboração de explicações (PC3), como a descoberta autônoma da relação inversamente proporcional entre o tamanho da fenda e a dispersão luminosa.

A SEI tem o potencial de desmistificar a figura do cientista isolado, pois as interações discursivas demonstraram que os sentidos físicos foram validados coletivamente, com os estudantes corrigindo a linguagem uns dos outros e unificando hipóteses divergentes em um único argumento. Este tipo de prática reforça para os estudantes a importância da discussão e análise de teorias por diversos cientistas para que possa ocorrer avanço científico e tecnológico constante.

Além disso, a intervenção demonstrou sucesso ao guiar os estudantes da mera observação visual do fenômeno (sombras) para a instrumentalização matemática. Os estudantes foram capazes de avaliar o rigor de suas próprias medidas (PE3) e utilizar dados reais para calcular o comprimento de onda do laser, assim como a espessura do fio de cabelo, consolidando a articulação entre as práticas mobilizadas e a construção de sentidos físicos alinhados à cultura científica de forma prática e palpável. Desta forma, os estudantes atuaram como cientistas analisando resultados e práticas para aprimorar sua coleta de dados e se aproximar do resultado teórico esperado.

No âmbito do ensino de Óptica, tradicionalmente marcado por uma abordagem excessivamente matemática e abstrata, este trabalho propõe atividades pautadas na liberdade intelectual dos estudantes. Ao utilizar diversas ferramentas didáticas como experimentos demonstrativos, investigações, leitura e interpretação de texto, experimentos investigativos, simulador e atividades individuais, a pesquisa demonstra como fenômenos ópticos, muitas vezes distantes da vivência do estudante, podem ser investigados de forma concreta. Essa abordagem está alinhada com Sasseron (2018), pois verificamos que a abordagem investigativa torna o estudante construtor ativo dos sentidos físicos sobre o fenômeno, e não apenas receptor passivo de informações. Foi possível notar o desenvolvimento de um pensamento crítico dos estudantes, extrapolando o mero aprender o conteúdo e tornando o ensino parte do seu desenvolvimento pessoal para resolução de problemas futuros.

Ao analisar a implementação do produto educacional, os dados obtidos confirmam o que já é apontado por pesquisadores contemporâneos em educação em ciências: o ensino por investigação contribui para a promoção do desenvolvimento e aprimoramento de práticas científicas e epistêmicas, as quais, por sua vez, medeiam a construção de sentidos físicos pelos estudantes. As descobertas desta pesquisa confirmam que os estudantes desenvolvem práticas científicas e epistêmicas de diversos níveis quando desafiados a resolver um problema e trabalham em equipe para coletar e analisar dados em busca de uma solução com a qual a maioria do grupo consente.

Este estudo amplia o corpo de conhecimento existente ao levantar evidências de que a elaboração e implementação de uma SEI sobre difração da luz pode potencializar a construção de sentidos físicos sobre o fenômeno, juntamente com o desenvolvimento de práticas científicas e epistêmicas que se mostram cruciais para formação de cidadãos críticos e com capacidade de analisar e resolver problemas cotidianos. A elaboração e aplicação do produto educacional durante a pesquisa mostraram que a flexibilidade pedagógica é um fator determinante para o sucesso de intervenções no ensino de física.

Desta forma, a pesquisa evidencia a importância do desenvolvimento de práticas epistêmicas e científicas pelos estudantes e como essas práticas articulam-se à construção de sentidos físicos sobre os fenômenos estudados, contribuindo não somente para o ensino de física, mas também para o desenvolvimento integral dos estudantes. Os resultados indicam que a diversidade dos métodos contribui para o desenvolvimento e aprimoramento das práticas, assim como para a participação ativa dos estudantes durante a aula, sugerindo que o desenvolvimento de materiais didáticos contextualizados e centrados no estudante não é apenas uma alternativa metodológica, mas uma necessidade para o seu desenvolvimento. Ou seja, o produto educacional gerado não apenas atende aos objetivos da pesquisa, mas serve como um recurso validado e replicável para outros docentes, seja de forma integral ou parcial.

Apesar do rigor metodológico adotado e das contribuições alcançadas para o ensino de física, esta pesquisa apresenta limitações que devem ser reconhecidas, inerentes tanto ao contexto prático de aplicação quanto ao delineamento do estudo. Do ponto de vista temporal, a SEI abordou o tema da difração da luz a partir de diversas atividades ao longo de várias aulas. Para uma reaplicação do produto na íntegra, o professor necessita de uma quantidade grande de aulas para abordagem de um tema que, muitas vezes, tem pouca ênfase no currículo. No entanto, cada aula pode ser desenvolvida de forma independente e pode ser aplicada como contribuição à construção de sentidos físicos sobre a difração e ao desenvolvimento das práticas epistêmicas e científicas dos estudantes.

Do ponto de vista do alcance e do número de participantes, o estudo foi conduzido em um cenário específico, circunscrito pela realidade da escola e da comunidade na qual está localizada. Dessa forma, os resultados obtidos refletem diretamente o contexto socioeducacional, as condições de infraestrutura e o perfil dos estudantes dessa instituição. Embora o produto educacional e as metodologias propostas tenham sido desenhadas para serem replicáveis, a transposição linear desses resultados para outras realidades escolares deve ser feita com cautela e com ajustes para a realidade vivida no ambiente escolar.

Para o desenvolvimento de pesquisas futuras, sugerimos a aplicação deste produto educacional em uma amostra mais ampla e diversificada, englobando diferentes contextos de ensino. Isso permitiria mensurar de forma mais robusta a consolidação dos sentidos físicos construídos pelos estudantes e refinar ainda mais as estratégias didáticas elaboradas.

As aplicações práticas dos resultados desta pesquisa consolidam-se, primordialmente, na oferta de uma alternativa pedagógica tangível e testada para o ensino de física. No contexto educacional, especialmente na realidade do ensino público, a excessiva abstração imposta por metodologias tradicionais frequentemente atua como uma barreira para a construção de sentidos físicos. O produto educacional desenvolvido atua diretamente na quebra desse paradigma, transformando o estudo da óptica em uma experiência investigativa, visual e concreta.

Uma das principais contribuições práticas deste trabalho reside na alta replicabilidade do material elaborado. Este produto utiliza materiais simples e diversificados, de modo que a totalidade, ou ao menos parte expressiva do conteúdo, possa ser reproduzida pela maioria dos docentes. Para os professores da educação básica, isso significa ter à disposição um recurso didático de baixo custo e alta flexibilidade, passível de ser facilmente adaptado conforme a infraestrutura tecnológica de cada realidade escolar.

Com a disponibilização dos roteiros de aplicação, outros docentes podem não apenas aplicar o produto em suas aulas regulares, mas também utilizá-lo como base para a formulação de disciplinas eletivas voltadas à experimentação científica ou **a** projetos extracurriculares.

Além da dimensão material, a pesquisa reforça a aplicabilidade de uma abordagem baseada no ensino por investigação diante de cenários reais e imprevistos escolares. O planejamento flexível e as estratégias de engajamento testadas neste estudo servem como um roteiro metodológico para outros professores. A dinâmica de colocar o estudante como construtor ativo dos sentidos físicos sobre os fenômenos estudados pode ser facilmente transposta para outras áreas da física, como a cinemática e a eletrodinâmica, encorajando a consolidação de uma cultura de experimentação e investigação científica contínua nas escolas.

A conclusão desta pesquisa não encerra as possibilidades de investigação em torno do ensino por investigação, do desenvolvimento de práticas científicas e epistêmicas e da utilização de produtos educacionais concretos no ensino de física; pelo contrário, aponta para novos caminhos e questões que permanecem em aberto. A partir dos resultados obtidos e dos desafios mapeados ao longo da intervenção, sugere-se a expansão temática da abordagem investigativa para outras áreas tradicionalmente abstratas da física. É possível, por exemplo, adaptar a estrutura metodológica deste produto educacional para o ensino de cinemática, por meio da construção de protótipos mecânicos para análise de vetores e movimento, ou de eletrodinâmica, promovendo a materialização de circuitos e grandezas elétricas.

Além disso, uma vertente promissora para estudos futuros é o aprofundamento na cultura maker e sua aplicação em disciplinas eletivas. A expansão do uso do produto educacional para além do currículo regular, integrando-o a componentes curriculares diversificados voltados à modelagem, impressão 3D e corte a laser, permitiria a disponibilização de protótipos de montagem dos experimentos para docentes com acesso a impressão 3D ou máquinas de corte a laser. Outra questão fundamental que merece investigação, sobretudo pelas restrições de cronograma enfrentadas neste estudo, é o impacto da intervenção a longo prazo. Nesse sentido, frisamos a importância da realização de pesquisas longitudinais que acompanhem os estudantes nos anos subsequentes, avaliando se a construção dos sentidos físicos resultou em maior apropriação conceitual e em um melhor desempenho acadêmico ao longo do tempo.

Por fim, considerando que o produto educacional desenvolvido tem como premissa a alta replicabilidade, um desdobramento natural da pesquisa seria analisar o processo de apropriação desse material por outros professores da rede de ensino. Investigar as facilidades, resistências e adaptações metodológicas realizadas por docentes que não participaram da concepção original do projeto forneceria dados cruciais. Essa análise do impacto na prática docente e na recepção pelos pares poderia subsidiar não apenas o aprimoramento do produto em si, mas também contribuir para políticas de formação continuada mais alinhadas aos desafios reais da educação básica.

O percurso de desenvolvimento desta pesquisa representou um profundo processo de amadurecimento profissional e pessoal. Conciliar a rotina de sala de aula com as exigências e o rigor de um mestrado profissional impôs o desafio de vivenciar, simultaneamente, os papéis de professor, estudante e pesquisador. Essa jornada exigiu um olhar distanciado e crítico sobre a minha própria prática docente, transformando o espaço escolar, que habitualmente é o meu local de trabalho diário, em um verdadeiro laboratório de investigação, escuta e reflexão pedagógica.

Como delineado ao longo deste trabalho, a trajetória não foi isenta de obstáculos. Os imprevistos vivenciados durante a fase de aplicação do produto educacional e as consequentes readequações de cronograma geraram, em um primeiro momento, apreensão e ansiedade.

Contudo, ao olhar em retrospectiva, compreendo que essas intempéries foram fundamentais para a minha formação como pesquisador. Lidar com o imprevisível ensinou-me que a pesquisa em ensino de física não se faz em um ambiente estéril e perfeitamente controlado, mas na dinamicidade, na vivacidade e na complexidade do contexto real dos estudantes do ensino público. A necessidade de adaptar a intervenção, flexibilizar a coleta de dados e replanejar as etapas finais, sempre contando com o diálogo, o acolhimento e o direcionamento preciso do meu orientador, evidenciou a importância da resiliência e da maleabilidade metodológica na pesquisa acadêmica.

Ao final deste ciclo, a principal aprendizagem que levo transcende a elaboração estrutural do produto educacional em si. Entendo agora, com base em evidências e

vivências, que a transposição didática, quando aliada a metodologias ativas e à materialização do conhecimento, tem o poder não apenas de mediar a construção de sentidos sobre conceitos abstratos, mas de ressignificar a relação dos alunos com a ciência. A experiência de testemunhar os estudantes superando barreiras e construindo ativamente os próprios sentidos físicos sobre os fenômenos reafirmou a minha paixão pela docência.

Encerro esta etapa da dissertação não apenas com um produto aplicado, mas com a certeza de que o processo de investigação transformou definitivamente a minha postura profissional, consolidando a minha crença empírica de que é possível, viável e absolutamente necessário inovar no ensino de física na educação básica.

Ademais, é imprescindível destacar a dimensão social e o impacto transformador desta pesquisa, especialmente ao considerarmos o cenário desafiador da educação pública brasileira. A aplicação do produto educacional no contexto da rede estadual demonstrou que a inovação metodológica não depende exclusivamente de laboratórios de alto custo, mas sim de propostas criativas, bem fundamentadas e adaptáveis à realidade escolar. Para a formação dos alunos, a vivência com o ensino investigativo no estudo da óptica transcendeu a simples apropriação de conceitos físicos abstratos, promovendo a construção ativa de sentidos sobre o fenômeno da difração. Essa abordagem proporcionou o desenvolvimento do pensamento crítico, da autonomia e da capacidade de resolução de problemas, habilidades que são fundamentais não apenas para o letramento científico, mas para o exercício pleno e consciente da cidadania. Ao deslocar o estudante da posição de espectador passivo para a de protagonista na construção do próprio conhecimento, a pesquisa contribui para uma educação mais emancipatória, engajadora e inclusiva.

Sob a ótica da prática docente, a relevância social deste trabalho consolida-se na democratização do acesso a recursos didáticos diferenciados. Dessa forma, o estudo não apenas propõe uma melhoria pontual no ensino de física, mas valoriza e reforça o papel do professor da educação básica como um legítimo produtor de conhecimento acadêmico e um agente de transformação social. O material desenvolvido prova ser possível ressignificar a sala de aula, inspirando práticas pedagógicas que dialoguem de forma direta com as vivências e as potencialidades dos jovens estudantes.

Por meio da aplicação prática, desmistificamos a ideia de que o fazer científico ocorre apenas em laboratórios isolados e com equipamentos de última geração. Por meio do desenvolvimento da SEI, os estudantes construíram sentidos físicos sobre a difração da luz e compreenderam que o conhecimento científico é construído de forma colaborativa, envolvendo testes, discussões de hipóteses e a revisão constante de medidas. Desta forma, consolidamos a percepção de que os estudantes podem se ver como potenciais cientistas e pesquisadores, capazes de atuar ativamente na criação de novos conhecimentos e tecnologias.

Por fim, diante do atual cenário de avanço acelerado das ferramentas de Inteligência Artificial, a promoção do Ensino por Investigação ganha contornos de urgência. Quando o acesso à informação e a geração de respostas automáticas tornam-se instantâneos por meio das IAs, o papel da escola não pode mais ser a simples transmissão de dados. Assim, surge a necessidade de formar os estudantes para que possam vir a se tornar agentes epistêmicos. O desenvolvimento de práticas de avaliação de evidências (PE3) e legitimação justificada do conhecimento (PE4) pode auxiliar a formar os jovens para que atuem de forma crítica frente às informações geradas por algoritmos, garantindo que a tecnologia atue como aliada do pensamento científico, e não como um substituto para a autonomia intelectual humana.

REFERÊNCIAS

AIKENHEAD, Glen S. **Science education for everyday life: Evidence-based practice**. New York: Teachers College Press, 2006.

ALONSO, Marcelo; FINN, Edward J. **Física: Um curso universitário-Campos e ondas**. Editora Blucher, 2018.

BACHELARD, Gaston. **A formação do espírito científico**. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996. (Obra original publicada em 1938).

BODEVAN, Jéssica Adriane de Souza; COELHO, Geide Rosa. Ensino por investigação, centro de ciências, práticas científicas e epistêmicas: análise de uma intervenção pedagógica. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 40, n. 1, p. 8-32, 2023.

BRASIL. **Ministério da Educação. Base Nacional Comum Curricular**. Brasília, 2018.

CARVALHO, Anna Maria Pessoa de. Ensino e aprendizagem de Ciências: referenciais teóricos e dados empíricos das sequências de ensino investigativas-(SEI). **O uno e o diverso na educação**, 2011.

CARVALHO, Anna Maria Pessoa de. O ensino de ciências e a proposição de sequências de ensino investigativas. **Ensino de ciências por investigação: condições para implementação em sala de aula**. São Paulo: Cengage Learning, 1, 1-19, 2013.

CARVALHO, Anna Maria Pessoa de. Fundamentos Teóricos e Metodológicos do Ensino por Investigação. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, [S. l.], v. 18, n. 3, p. 765–794, 2018.

CARVALHO, Anna Maria Pessoa de. **Ensino de ciências por investigação: condições para implementação em sala de aula**. São Paulo: Cengage Learning, 2022

DAMIANI, Magda Floriana. Sobre pesquisas do tipo intervenção. Painel: as pesquisas do tipo intervenção e sua importância para a produção de teoria educacional. In: ENCONTRO NACIONAL DE DIDÁTICA E PRÁTICA DE ENSINO, 2XVI, 2012, Campinas. **Anais**... Campinas: UNICAMP, 2012.

DAMIANI, Magda Floriana; ROCHEFORT, Renato Siqueira; CASTRO, Rafael Fonseca de; DARIZ, Marion Rodrigues; Pinheiro, Silvia Siqueira. Discutindo pesquisas do tipo intervenção pedagógica. **Caderno de Educação**, Pelotas, p. 57-67, ago. 2013.

DARRIGOL, Olivier. **A history of optics from Greek antiquity to the nineteenth century**. OUP Oxford, 2012.

DRIVER, Rosalind H.; NEWTON, Paul Edward.; OSBORNE, Jonathan. **Establishing the norms of scientific argumentation in classrooms**. Science Education, v. 84, n. 3, p. 287-312, 2000.

DRIVER, Rosalind H.; LEACH, John; MILLAR, Robin; SCOTT, Philip. **Young people's images of science**. Buckingham: Open University Press, 1996.

DUSCHL, Richard; OSBORNE, Jonathan. Supporting and promoting argumentation discourse in science education. **Studies in Science Education**, v. 38, n. 1, p. 39–72, 2002.

FREIRE, Felipe Aragão; SILVA, Adjane da Costa Tourinho. Uma análise das práticas e movimentos epistêmicos desenvolvidos em torno de um experimento físico sobre dilatação térmica em ambiente virtual: un análisis de las prácticas y movimientos epistémicos desarrollados en una clase virtual. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 41, n. 1, p. 36-65, 2024.

FREIRE, Paulo. **Pedagogia da autonomia: saberes necessários à prática educativa**. Editora Paz e terra, 2014.

HODSON, Derek. Learning science, learning about science, doing science: different goals demand different learning methods. **International Journal of Science Education**, v.36, n.15, p.2534-53, 2014.

JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, María Pilar; CRUJEIRAS, Beatriz. Epistemic practices and scientific practices in science education. In: TABER, K. S.; AKPAN, B. (Eds.). **Science Education: an International Course Companion**, p. 69-80, 2017.

JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, María Pilar; ERDURAN, Sibel. Argumentation in Science Education: Perspectives from **Classroom-Based Research**. Dordrecht: Springer, 2007.

KELLY, Gregory J. Inquiry, activity, and epistemic practice. In: DUSCHL, R. A.; GRANDY, R. E. (ed.). **Teaching scientific inquiry**: recommendations for research and implementation. Rotterdam: Sense Publishers, 2008. p. 99–117.

KELLY, Gregory J.; LICONA, Peter R.. Epistemic Practices and Science Education. In: M. MATTHEWS (Ed.). **History, Philosophy and Science Teaching**, p. 139-165, Springer, 2018

LEÃO, Marcelo Franco; KOLCENTI, Gustavo Gonçalves. Metodologias utilizadas para ensinar física no ensino fundamental: uma análise das publicações de 2014 a 2018. **South American Journal of Basic Education, Technical and Technological**, v. 8, n. 2, p. 57–77, 2021.

MAIA NETO, Paulo A.; RIBEIRO, Paulo H. Souto; MATOS FILHO, Ruynet L. de. **Física 4 B**. 2. ed. Rio de Janeiro: Fundação Cecierj/Consórcio Cederj, 2010. v. único.

MORTIMER, Eduardo Fleury; SCOTT, Philip. Atividade discursiva nas salas de aula de ciências: uma ferramenta sociocultural para analisar e planejar o ensino. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 7, n. 3, p. 283-306, 2002.

MUNFORD, Danusa; LIMA, Maria Emília Caixeta de Castro e. Ensinar ciências por investigação: em quê estamos de acordo? **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências** (Belo Horizonte), v. 9, n. 01, p. 89-111, 2007.

NUSSENZVEIG, Herch Moysés. **Curso de Física Básica** - vol. 4. Blucher, 1998.

RIBEIRO, Jair Lúcio Prados; VERDEAUX, Maria de Fátima da Silva. Atividades experimentais no ensino de óptica: uma revisão. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 34, p. 4403, 2012

ROSA, Cleci Teresinha Werner da; DARROZ, Luiz Marcelo; MINOSSO, Fernanda Balzan. Alfabetização Científica e Ensino de Ciências nos Anos Iniciais: concepções e ações dos professores. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, 12(1), 154–174,2019.

SANDOVAL, William A. **Science education's need for a theory of epistemic cognition. Science Education**, v. 98, n. 3, p. 383–387, 2014.

SASSERON, Lúcia Helena. Alfabetização Científica, Ensino por Investigação e Argumentação: Relações entre Ciências da Natureza e Escola. **Ensaio em Educação em Ciências** (Belo Horizonte), 17 (spe), 49–67, 2015.

SASSERON, Lúcia Helena; SILVA, Maíra Batistoni e. Sobre Alfabetização Científica e sobre práticas epistêmicas: encontros de ações para a pesquisa e ensino de ciências. In: MILARÉ, Tathiane; RICHETTI, Graziela Piccoli; LORENZETTI, Leonir; FILHO, Jose de Pinho Alves. **Alfabetização científica e tecnológica na educação em ciências: fundamentos e práticas**. 1. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2021.

SASSERON, Lúcia Helena. Ensino de Ciências por Investigação e o Desenvolvimento de Práticas: Uma Mirada para a Base Nacional Comum Curricular. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 18, n. 3, p. 1061-1085, 2018.

SILVA, Maíra Batistoni e; GEROLIN, Eloísa Cristina; TRIVELATO, Sílvia L. Frateschi. A importância da autonomia dos estudantes para a ocorrência de práticas epistêmicas no ensino por investigação. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, p. 905–933, 2018.

STUDART, Nelson. Inovando a Ensinagem de Física com Metodologias Ativas. **Revista do Professor de Física**, [S. l.], v. 3, n. 3, p. 1–24, 2021.

ZOMPERO, Andreia Freitas; LABURÚ, Carlos Eduardo. O ensino de ciências por investigação: conceituação e perspectivas para o ensino médio. **Revista Ensaio**, v. 13, n. 3, p. 67–83, 2011.

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

Convido o Senhor(a) a participar da pesquisa intitulada "**EXPLORANDO A DIFRAÇÃO DA LUZ POR MEIO DO ENSINO POR INVESTIGAÇÃO: DESENVOLVIMENTO DE PRÁTICAS CIENTÍFICAS E EPISTÊMICAS DOS ESTUDANTES**", desenvolvida pela pesquisadora **Walackson Luander Bolsoni Capato**, sob a orientação do professor **Jardel da Costa Brozeguini**, vinculado ao Programa de Mestrado Profissional em Ensino de Física do Instituto Federal do Estado do Espírito Santo (Ifes), localizado na Rodovia Governador José Sette, 184 – Itacibá – 29150-410 Cariacica – ES. O telefone de contato é (27) 3246 1600, o e-mail é mnpef.ca@ifes.edu.br e o site oficial é https://ppgefis.cariacica.ifes.edu.br/index.php/en/.

O objetivo geral desta pesquisa é analisar as contribuições de uma Sequência de Ensino Investigativa para o ensino da difração, visando o desenvolvimento de práticas científicas e epistêmicas.

Os objetivos específicos são os seguintes:

1. Estruturar uma SEI com o tema central de difração da luz.
2. Desenvolver material didático para o ensino da difração da luz, com ênfase no desenvolvimento de práticas científicas e epistêmicas.
3. Investigar o nível de envolvimento dos alunos na realização de atividades investigativas.
4. Verificar se houve aprendizagem conceitual do fenômeno de difração da luz a partir da sequência didática.
5. Identificar indícios de desenvolvimento de práticas epistêmicas e científicas por parte dos estudantes durante a SEI.

Convidamos você a participar de uma sequência de 07 aulas, que incluirá demonstrações investigativas, experimentações em sala de aula, demonstrações experimentais e uso de simulações.

Ao longo dos encontros da sequência didática, serão disponibilizados roteiros para realização e acompanhamento das tarefas. Durante as aulas da sequência didática, iremos verificar o desempenho dos alunos na participação das tarefas propostas, tabulando e analisando os dados após a conclusão da sequência didática.

O(a) Sr.(a) tem plena liberdade de recusar-se a participar ou retirar seu consentimento em qualquer fase da pesquisa, sem sofrer penalização alguma pelo tratamento recebido neste serviço. Serão disponibilizadas atividades diferenciadas aos estudantes que optarem por não participar da pesquisa, em desenvolvimento por meio de parceria com a unidade escolar. Com a participação voluntária, enfatizamos que a não participação não terá qualquer impacto negativo em sua trajetória acadêmica. Isso se aplica tanto na avaliação quantitativa como na compreensão do conteúdo, pois será disponibilizada a oportunidade de acessar o material por meio de apostilas, vídeo aulas e orientação oferecida pelo professor-pesquisador.

Caso conceda a participação, a mesma consistirá em participar das aulas realizando leituras, debates e atividades propostas. A sua aceitação também implica em autorizar registros de imagem ou sons do estudante. As informações fornecidas ao pesquisador serão arquivadas

digitalmente, por meio de registros escritos, gravações de áudio ou vídeo, armazenadas em mídias sob posse do pesquisador, e não serão utilizadas em prejuízo seu ou de outras pessoas, incluindo danos à estima, prestígio, ou prejuízos econômicos ou financeiros. Os termos de autorização, de acordo com a Resolução 466 - Capítulo IV, 3f, serão datados e assinados em duas vias: a primeira via deste termo ficará em posse do estudante, enquanto a segunda via ficará com o pesquisador.

Toda pesquisa envolvendo seres humanos apresenta riscos para os participantes. A pesquisa por se tratar de coleta de dados em sala de aula os riscos envolvidos são mínimos e os mesmos que nas práticas pedagógicas cotidianas as quais os alunos já estão adequados que são: possibilidade de constrangimento, desconforto, medo, vergonha, estresse ou cansaço ao participar das atividades e responder às perguntas. Caso ocorra algum constrangimento, medidas serão adotadas para evitar sua repetição e, em casos extremos, o responsável poderá ser convidado a não participar das demais etapas da sequência didática. Com base na Resolução 510 do CNS - Capítulo IV: Art. 18, Art. 19, Art. 20 e Art. 21, a participação nas atividades de interação com os colegas por meio de debates é opcional, levando em consideração possíveis constrangimentos. Adicionalmente, a decisão de disponibilizar voz e/ou imagem durante as várias etapas da proposta didática fica a critério do participante, que tem a opção de não conceder autorização para o uso de voz e/ou imagem tanto durante o decorrer da pesquisa quanto na apresentação dos resultados.

Queremos enfatizar os benefícios decorrentes da participação nesta pesquisa, tais como a aquisição de conhecimentos em Física, apresentados de maneira dinâmica e contextualizada ao dia a dia, o aprimoramento do pensamento crítico-científico e o desenvolvimento de práticas científicas e epistêmicas.

A equipe da pesquisa se compromete a garantir a confidencialidade das informações dos participantes, assim como o anonimato, pois a participação em gravações de áudio, vídeo ou registros fotográficos pode causar desconforto em alguns participantes. Durante as aulas, que consistem em debates e troca de conhecimentos, serão estabelecidas diretrizes para orientar os assuntos, não sendo permitidas falas desrespeitosas.

A pesquisa proposta busca promover uma aprendizagem voltada para a emancipação do cidadão, visando potencializar a capacidade de tomar decisões por parte do educando, tanto em sala de aula quanto na vida. Essa abordagem proporciona maior autonomia, desenvolve um espírito crítico e participativo, buscando estabelecer relações entre as situações propostas durante as oficinas e situações reais de aplicação dos conhecimentos científicos.

Ao finalizar a pesquisa, ou a qualquer momento, os participantes terão acesso aos resultados parciais ou totais do estudo. Será estruturado um produto educacional composto por um conjunto de materiais educacionais disponibilizados gratuitamente, como slides, vídeos, materiais textuais, entre outros. Esses materiais conterão informações operacionais e possíveis problemáticas que levem o aluno a experimentar o fenômeno e relacionar a atividade com situações do cotidiano. O material teórico disponibilizado manterá o sigilo em relação aos participantes da pesquisa e estará disponível tanto para o uso de outros alunos quanto como auxílio para professores na preparação de suas aulas.

Todos os resultados provenientes da pesquisa serão divulgados para os estudantes durante reunião em sala de aula, após o término da pesquisa e compilação de dados.

Caso julgue indispensável, o Sr. dispõe de tempo para refletir sobre seu consentimento, podendo consultar, se necessário, seus familiares ou outras pessoas que possam auxiliá-lo na tomada de decisão livre e esclarecida.

Garantimos ao Sr. a manutenção do sigilo e da privacidade de sua participação e dos dados coletados durante todas as fases da pesquisa, bem como na divulgação científica. Os estudantes que participarem da pesquisa não terão seus nomes divulgados, sendo representados em relatórios através de codinomes.

O Sr. pode entrar em contato com o pesquisador responsável, Walackson Luander Bolsoni Capato, a qualquer momento.

Também é possível entrar em contato com o Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) do Instituto Federal do Espírito Santo (Ifes) e com a Comissão Nacional de Ética em Pesquisa (CONEP), quando necessário. Seguem os dados do Comitê de Ética em Pesquisa para recursos ou reclamações por parte do participante da pesquisa:

Instituto Federal do Espírito Santo – Ifes
Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos (CEP/Ifes)
Endereço: Av. Rio Branco, nº 50 – Santa Lúcia – Vitória – ES – CEP: 29056-255
Telefone: (27) 3357-7518 e 3357-7530
E-mail: etica.pesquisa@ifes.edu.br

O CEP/Ifes é um colegiado interdisciplinar e independente, vinculado operacionalmente à Reitoria do Ifes. Possui papel deliberativo, consultivo e educativo, promovendo a reflexão ética sobre a pesquisa científica. O Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos do Ifes (CEP/Ifes) está registrado na Comissão Nacional de Ética em Pesquisa do Ministério da Saúde (CONEP/CNS/MS) desde setembro de 2009.

É garantido ainda que, havendo algum dano decorrente da pesquisa, o participante terá direito a solicitar indenização através das vias judiciais (Código Civil, Lei 10.406/2002, Artigos 927 a 954 e Resolução CNS nº 510 de 2016, Artigo 19).

CONSENTIMENTO PÓS-INFORMAÇÃO

Li e concordo em participar da pesquisa.

_____, ____/_____/2026.

_____
Assinatura do(a) estudante

_____
Assinatura do Pesquisador Responsável

APÊNDICE B - TERMO DE ASSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TALE)

Querido estudante _____ eu, **Walackson Luander Bolsoni Capato**, gostaria de convidá-lo, após autorização dos seus pais (ou responsáveis legais) para participar como voluntário (a) da pesquisa de minha responsabilidade, intitulada: **"EXPLORANDO A DIFRAÇÃO DA LUZ POR MEIO DO ENSINO POR INVESTIGAÇÃO: DESENVOLVIMENTO DE PRÁTICAS CIENTÍFICAS E EPISTÊMICAS DOS ESTUDANTES"**. Resido no endereço Rua Montes Claros, Nº 31, bairro Marcílio de Noronha, município de Viana, CEP: 29135-477, e-mail: walackson@hotmail.com, telefone celular: (27)99709-7774. Também participa da pesquisa o orientador: Dr. Jardel da Costa Brozeguini, e-mail: jardel.brozeguini@ifes.edu.br.

Caso este Termo de Assentimento contenha alguma informação que você não compreenda, as dúvidas podem ser tiradas comigo durante entrevista, e apenas ao final, quando todos os esclarecimentos forem dados, e você concorde com a realização do estudo, pedimos que rubrique as folhas e assine ao final deste documento, que está em duas vias: uma via lhe será entregue para que seus pais ou responsáveis possam guardá-la, e outra ficará comigo, pesquisador responsável.

Você será esclarecido (a) sobre qualquer dúvida e estará livre para decidir participar ou não. Caso não aceite participar, não haverá nenhum problema, desistir é um direito seu. Para participar deste estudo, o responsável por você deverá autorizar e assinar um Termo de Consentimento, sem nenhum prejuízo. Você possui total liberdade de deixar a pesquisa a qualquer momento e também receber quaisquer esclarecimentos durante a realização da pesquisa. Em nenhum momento você será punido caso se recuse a participar ou sinta vontade de se retirar da pesquisa, não havendo nenhuma punição ou prejuízo ao processo de ensino e aprendizagem do conteúdo.

Caso você se sinta desconfortável, seja comigo ou com o desenvolvimento das atividades, você poderá, a qualquer hora, entrar em contato com meu Professor-Orientador pelo e-mail: jardel.brozeguini@ifes.edu.br e fazer reclamações. Caso você se sinta desconfortável durante a realização das atividades, você pode se dirigir a mim e tirar dúvidas e/ou relatar as questões que geraram desconforto. Tenha conhecimento que tentarei resolver da melhor forma possível todos os impasses que surgirem para que você aproveite ao máximo esta pesquisa. Os riscos que podem surgir durante a realização da pesquisa são mínimos, e referem-se, basicamente, a possíveis constrangimentos relacionados com a participação nas atividades durante a interação com outros colegas, que serão contornados com diálogos diretamente com os alunos envolvidos. Outro ponto é a possibilidade de desconforto com diálogos diretamente com os alunos envolvidos. Outro ponto é a possibilidade de desconforto em relação a disponibilização de sua voz e/ou imagem, sendo de sua escolha a autorização ou não do uso dessas durante o desenvolvimento e na apresentação dos dados da pesquisa.

Comprometo-me a informar os resultados da pesquisa a você e ao seu responsável, bem como à equipe pedagógica da escola.

INFORMAÇÕES SOBRE A PESQUISA

O objetivo geral desta pesquisa é analisar as contribuições do ensino por investigação na temática da difração da luz no desenvolvimento das práticas científicas e epistêmicas dos estudantes em uma turma da segunda série do ensino médio.

Já os objetivos específicos são:

1. Estruturar uma SEI com o tema central de difração da luz.
2. Desenvolver material didático para o ensino da difração da luz, com ênfase no desenvolvimento de práticas científicas e epistêmicas.
3. Investigar o nível de envolvimento dos alunos na realização de atividades investigativas.
4. Verificar se houve aprendizagem conceitual do fenômeno de difração da luz a partir da sequência didática.
5. Identificar indícios de desenvolvimento de práticas epistêmicas e científicas por parte dos estudantes durante a SEI.

Não utilizamos nenhum produto químico ou objetos que possam colocar em risco sua integridade física ou de seus coabitantes. Ao término da sequência de ensino por investigação será disponibilizado um questionário onde poderão ser inseridas as considerações dos estudantes.

Nossas atividades serão realizadas em grupo no sentido de compartilhar as hipóteses e as soluções dos experimentos. Caso tenha ideias divergentes a de seus colegas, não se preocupe, abordaremos por meio do diálogo de forma mais harmoniosa possível. Você receberá os principais materiais necessários para manuseio e realização dos experimentos. Os resultados dos experimentos serão discutidos durante e ao término da proposta.

A pesquisa proposta tem como benefícios a busca pela promoção de uma aprendizagem voltada para o ensino por investigação, potencializando assim a tomada de decisões que um educando faz em sala de aula e na vida. Oportunizando maior autonomia, desenvolvendo um espírito crítico e participativo, buscando relacionar as situações propostas durante as oficinas com situações de uso real dos conhecimentos científicos.

A pesquisa por se tratar de coleta de dados em sala de aula os riscos envolvidos são mínimos e os mesmos que nas práticas pedagógicas cotidianas as quais os alunos já estão adequados que são: possibilidade de constrangimento, desconforto, medo, vergonha, estresse ou cansaço ao participar das atividades e responder às perguntas.

As informações desta pesquisa serão confidenciais e serão divulgadas apenas em eventos ou publicações científicas, não havendo identificação dos voluntários, a não ser entre os responsáveis pelo estudo, sendo assegurado o sigilo sobre a sua participação.

Nem você e nem seus pais (ou responsáveis legais) terão custos adicionais por sua participação nesta pesquisa, também não receberão nenhum pagamento para a sua participação, pois é voluntária. Contudo, devemos ressaltar que os participantes deverão se responsabilizar por comparecer e participar das aulas, sendo necessária a frequência dos estudantes, para que o pesquisador consiga coletar os dados necessários para a pesquisa.

Este documento passou pela aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos – CEP do Ifes que está no endereço: Av. Rio Branco, Nº 50, Santa Lúcia, Vitória-ES, CEP: 29.056-255 Tel.: (27) 3357-7518 e 3357-7530, e-mail: etica.pesquisa@ifes.edu.br.

ASSENTIMENTO DO (A) MENOR DE IDADE EM PARTICIPAR COM VOLUNTÁRIO (A)

Eu, _____
Portador (a) do documento de identificação _____
Concordo em participar do projeto "_____
_____", como voluntário (a). Fui informado (a) e esclarecido (a) pelo pesquisador sobre a pesquisa, o que vai ser feito, assim, como os possíveis riscos e benefícios que podem acontecer com a minha participação. Foi-me garantido que posso desistir de participar a qualquer momento, sem que eu ou meus responsáveis precisem pagar nada.

Cidade, estado. dia de mês de 2026

Assinatura do (a) estudante: _____

APÊNDICE C – TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA UTILIZAÇÃO DE IMAGEM E SOM DE VOZ PARA FINS DE PESQUISA

Eu, Walackson Luander Bolsoni Capato, autorizo a utilização da minha imagem e som de voz, na qualidade de participante/entrevistado(a) no projeto de pesquisa intitulado "**O desenvolvimento de práticas científicas e epistêmicas em uma sequência de ensino investigativa sobre difração da luz: uma abordagem por meio de simulações interativas e práticas experimentais**"*,* sob responsabilidade de Jardel da Costa Brozeguini vinculado ao Mestrado Profissional em Ensino de Física do Instituto Federal do Espírito Santo

Minha imagem e som de voz podem ser utilizadas apenas para apenas para analisar se, durante as atividades em sala de aula, foram desenvolvidos práticas epistêmicas e científicas e o raciocínio lógico.

Tenho ciência de que não haverá divulgação da minha imagem nem som de voz por qualquer meio de comunicação, sejam elas televisão, rádio ou internet, exceto nas atividades vinculadas ao ensino e a pesquisa explicitadas acima. Tenho ciência também de que a guarda e demais procedimentos de segurança com relação às imagens e sons de voz são de responsabilidade do(a) pesquisador(a) responsável.

Deste modo, declaro que autorizo, livre e espontaneamente, o uso para fins de pesquisa, nos termos acima descritos, da minha imagem e som de voz.

Este documento foi elaborado em duas vias, uma ficará com o(a) pesquisador(a) responsável pela pesquisa e a outra com o(a) participante.

Cidade, estado. dia de mês de 2026

Assinatura do (a) participante da pesquisa

Nome e Assinatura do (a) pesquisador (a)

APÊNDICE D - DEMONSTRAÇÃO INVESTIGATIVA - PONTO CLARO DE FRESNEL

NOME DA ESCOLA		
Professor:		
Turma:	Data: ___/___/_____	Turno:
Alunos(as):		

ATIVIDADE 1 - DEMONSTRAÇÃO INVESTIGATIVA - PONTO CLARO DE FRESNEL

Caro aluno, neste experimento temos à nossa disposição uma bolinha de gude, uma pequena lanterna, uma esfera de ponta de caneta e um laser.

Questão 1 – Qual será a forma da sombra projetada por uma bolinha de gude quando uma lanterna ligada for direcionada a ela?

No espaço abaixo vocês devem formular uma hipótese inicial para a questão proposta, justificando com argumentos.

Após a observação da demonstração, o que vocês podem afirmar sobre a hipótese feita? Ela se confirmou? Caso não tenha sido confirmada, revise a hipótese e seu argumento no espaço abaixo.

Questão 2 – Qual será a forma da sombra projetada por uma esfera de ponta de caneta quando um laser ligado for direcionado a ela?

No espaço abaixo vocês devem formular uma hipótese inicial para a questão proposta, justificando com argumentos.

Após a observação da demonstração, o que vocês podem afirmar sobre a hipótese feita? Ela se confirmou? Caso não tenha sido confirmada, revise a hipótese e seu argumento no espaço abaixo.

APÊNDICE E - LEITURA DE TEXTO - COMPORTAMENTO ONDULATÓRIO DA LUZ

E.1 – TEXTO

NOME DA ESCOLA		
Professor:		
Turma:	Data: ___/___/_____	Turno:
Alunos(as):		

ATIVIDADE 2 - COMPORTAMENTO ONDULATÓRIO DA LUZ

Os mistérios da natureza são o combustível para os físicos da atualidade e, também, para os filósofos da antiguidade, as perguntas sobre como e por que podemos ver os objetos levaram a estudarmos o olho humano e a luz até alcançarmos o conhecimento o qual possuímos atualmente. O texto a seguir busca trazer algumas ideias que levaram à evolução do conhecimento que possuímos sobre óptica.

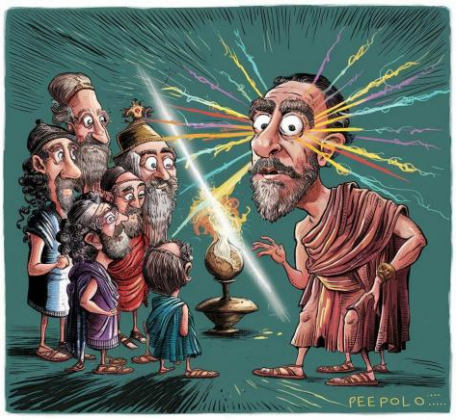
UMA BREVE HISTÓRIA DA LUZ: ALGUMAS IDEIAS RELEVANTES NA EVOLUÇÃO DAS TEORIAS ÓPTICAS ATÉ FRESNEL (1819)

Ao longo da história o conhecimento científico vem evoluindo e as percepções referentes à natureza vão se adaptando e modificando de acordo com as evoluções da tecnologia, da ciência e da sociedade. Com a óptica isso não foi diferente, ao longo da história o estudo da luz passou por várias formulações teóricas. As primeiras teorias acerca da luz começaram com as ideias filosóficas dos gregos, ainda antes de Cristo, e avançaram até os dias atuais.

Entre os gregos antigos, existiam vários filósofos que buscavam entender o comportamento da luz e o que ela era, seus estudos focavam principalmente na tentativa de entender o que era a luz e qual o seu papel no processo da visão. Entre os gregos que estudaram a luz podemos citar os filósofos Aristóteles, Euclides, Heron, Platão e Ptolomeu.

Os gregos focaram principalmente em teorias para explicar a visão e no estudo de alguns conceitos da óptica geométrica como reflexão, refração e propagação retilínea da luz. Existiam duas teorias que receberam mais destaque na Grécia antiga, a teoria atomista que defendia que os objetos ao serem atingidos pela luz emitem finas camadas de átomos que chegavam até os olhos e esses átomos ativavam a visão, e a teoria do fogo solar e o fogo dos olhos onde a luz do sol e das chamas emitem luz e os olhos também emitem raios luminosos e o encontro destes dois ativaria o sentido da visão.

Figura 1 -



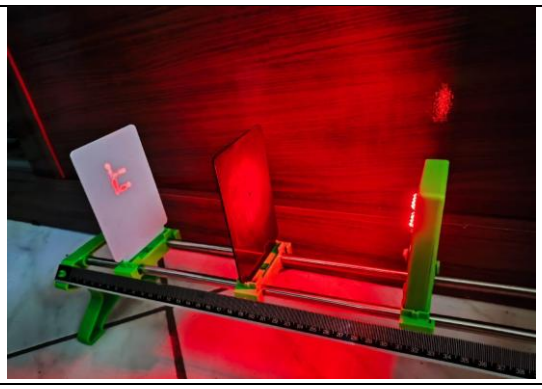
Fonte: ideogram

Com o material produzido pelos gregos, o estudo da luz também evoluiu com pesquisadores árabes e persas por volta do século X. Entre eles destacam-se nomes como Alhazen e Al-Kindi. Para Alhazen, o ar é transparente em si e a luz difusamente refletida é a causa direta da visão. Ele traz em seu livro estudos sobre o aumento aparente dos astros no horizonte, análise da duração do crepúsculo do Sol, reflexão em espelhos esféricos, rejeição da teoria grega de que o olho enviava raios ao objeto mirado e análises sobre a estrutura do olho. E, além disso, Alhazen defendia a ideia proposta por Aristóteles de que a cor era uma propriedade intrínseca dos corpos transmitida ao olho através do meio transparente (Darrigol, 2012).

Giovanni Battista della Porta (século XVI), um nobre de Nápoles, fez comparações entre o olho humano e uma câmera escura em sua obra “Magia Naturalis”, publicada em 1558 e depois em 1589. Ele defendia a ideia de que o humor vítreo era a parte sensível do olho, porém não conseguiu relacionar o cristalino com a lente da sua câmera escura. Contudo, ele reconheceu que as lentes podiam formar uma imagem nítida de um objeto em um papel. Ademais, Porta também explicou como aprimorar a imagem projetada pela câmera escura ao inserir uma lente de vidro na sua abertura.

Figura 2 -









Em 1611, na cidade de Nápoles, o religioso beneditino Francesco Maurolico fez uma analogia entre o humor cristalino do olho humano e uma lente bi-convexa. Ele chegou à conclusão de que distúrbios visuais como miopia e hipermetropia são causadas por uma convergência demasiado acentuada ou insuficiente desta “lente”, e que tais condições poderiam ser corrigidas com o uso de óculos.

Kepler, em 1604, fez uma descoberta fascinante: ele percebeu que o olho humano opera como uma sofisticada máquina óptica, formando imagens nítidas e detalhadas(pictura) de objetos distantes diretamente na retina.

As descobertas científicas no campo da óptica, desde os gregos até Kepler, foram direcionadas à compreensão da luz e da visão. Inicialmente, a óptica era vista como uma teoria da visão, onde a luz apenas facilitava a transferência de imagens para o olho, sem implicar um trajeto luminoso do objeto ao olho. Diferentes filósofos tinham teorias variadas sobre como isso ocorria. No segundo milênio, Alhazen colocou a luz como elemento central da óptica, mas ainda mantinha conceitos antigos, como os raios visuais emitidos pelos olhos, defendidos pelos gregos. Contudo, foi Kepler quem revolucionou essa compreensão ao descartar essas ideias gregas, considerando o olho como um instrumento óptico que formava imagens na retina. Ele defendeu a ideia da intersecção dos raios luminosos e sua importância para medir distâncias. Além disso, Kepler explicou como instrumentos poderiam corrigir ou aprimorar a visão, afastando-se das ideias gregas e aplicando métodos mais apropriados para o entendimento da óptica.

Descartes explicou o fenômeno da refração utilizando a analogia de uma bola que altera sua trajetória ao transitar do ar para a água, mudando também sua velocidade. No entanto, ele presumiu que a luz, por possuir uma velocidade infinita, não sofreria essa alteração de velocidade.

Em contraste com Kepler, Descartes (1637) concebeu a ideia de imagens virtuais, formadas pelo encontro dos prolongamentos dos raios de luz desviados por um instrumento óptico e que emanam de um mesmo ponto do objeto observado. Essa concepção pode ser verificada nas ilustrações que ele criou para demonstrar os efeitos de prismas, lentes e espelhos na visão. No entanto, ele não desenvolveu essa teoria mais a fundo, deixando um vasto campo para futuras explorações e avanços na compreensão dos fenômenos ópticos.
A teoria de Grimaldi (1665) sobre a luz possivelmente surgiu após ele identificar um fenômeno óptico inédito, que ele denominou "difractio" (que mais tarde daria origem à palavra "difração"). Em uma série de experimentos meticulosos, Grimaldi examinou a sombra formada em uma

tela distante por um objeto fino iluminado pelo sol, que atravessava um pequeno orifício em uma persiana. Ele notou que a semi-sombra era mais extensa do que o esperado com base no tamanho da abertura e apresentava bordas coloridas ao redor da sombra geométrica. Concluiu com precisão que esse efeito era resultado de um modo de propagação da luz até então desconhecido, que não se encaixava nos conceitos de reflexão (pelas arestas do objeto), refração (através de meios heterogêneos) ou dispersão (pelo ar).

A obra “De Anima” de Aristóteles foi fundamental para a teoria de Ango/Pardies (1682) sobre som e luz, que enfatizava o papel do meio na propagação desses fenômenos. Eles se basearam nesse texto para fundamentar suas hipóteses, incluindo a ideia de que o ar é a fonte de propagação, além de compararem o comportamento do som e da luz com ondas aquáticas. Ango/Pardies utilizaram o termo aristotélico "éter" para se referir ao meio óptico, uma prática pouco comum na época. Acreditavam que, até atingir a atmosfera, a luz se propagava quase instantaneamente, mas ao adentrar a atmosfera, sua velocidade diminuía.

Huygens chegou à conclusão de que a luz se propaga de uma maneira distinta, e que o conhecimento sobre a propagação do som no ar pode nos ajudar a entender isso. Ele concordou com Pardies que som e luz não se propagam da mesma maneira, já que os experimentos no vácuo de Torricelli e Boyle demonstraram que o som precisa do ar para se propagar, enquanto a luz não. Assim como Pardies (e Aristóteles), Huygens referiu-se ao meio da luz como éter, reconhecendo a diferença fundamental entre a propagação do som e da luz.

Hooke, em 1665, teorizou que o som era a sucessão de pulsos produzidos pelo batimento periódico do ar, como ele demonstrou mais tarde utilizando uma roda dentada giratória. Seu conceito de luz era uma versão mais rápida desse mesmo processo. Ele considerou uma velocidade finita de propagação em sua teoria das cores, e presumiu a periodicidade do movimento etéreo. Hooke utilizou essa propriedade para explicar as cores observadas em placas finas. Embora claramente influenciado pela analogia com o som, preferiu ser discreto e apresentar suas teorias ópticas como baseadas em observações e mecanismos racionais.

Hooke acreditava que a luz tinha natureza ondulatória. Ele propôs que a luz fosse uma forma de onda propagando-se através de um meio contínuo, que ele chamou de "éter". Essa visão contrastava com a teoria corpuscular da luz, defendida por Isaac Newton, que sugeria que a luz era composta de partículas. A concepção de Hooke estava mais alinhada com a teoria ondulatória posteriormente desenvolvida por Christiaan Huygens.

Thomas Young fez contribuições fundamentais para a óptica no início do século XIX, sendo uma figura central na defesa da teoria ondulatória da luz. Sua descoberta mais significativa foi o princípio da interferência, que ele introduziu para explicar uma série de fenômenos ópticos, incluindo as cores de placas finas e os padrões de interferência observados em superfícies estriadas. Young demonstrou que, quando duas ondas de luz provenientes da mesma fonte seguem caminhos diferentes e depois se encontram, elas podem interferir construtivamente, se reforçando, ou destrutivamente, se atenuando, dependendo da diferença de fase entre elas. Essa interferência resulta em padrões de intensidade luminosa variável, fenômeno que ele comparou aos batimentos acústicos, onde sons de frequências ligeiramente diferentes produzem variações perceptíveis na intensidade do som.

Além do princípio de interferência, Young fez avanços significativos na compreensão da dispersão da luz. Ele propôs que a velocidade das ondas de luz seria afetada pela tendência vibratória das partículas do meio pelo qual passam, antecipando teorias modernas de dispersão que seriam desenvolvidas décadas mais tarde. Apesar de seu estilo de escrita conciso e de sua abordagem experimental cuidadosa, Young recebia muitas críticas, e suas ideias enfrentavam resistência por não serem apresentadas com o rigor matemático que seus contemporâneos exigiam.

Fresnel foi uma figura central na transição da teoria corpuscular para a teoria ondulatória da luz. Sua abordagem inovadora e os resultados experimentais precisos desempenharam um papel crucial na aceitação da teoria ondulatória na comunidade científica.

Inicialmente, Fresnel focou seus estudos na difração da luz, utilizando experimentos para confirmar sua inclinação para a teoria ondulatória, em contraste com a teoria corpuscular dominante na época. Embora suas descobertas iniciais tenham corroborado os resultados de Thomas Young, Fresnel dedicou-se a uma análise matemática detalhada que o levou a formular o princípio de Huygens-Fresnel, essencial para calcular a amplitude da luz difratada.

Fresnel expandiu seus estudos para a polarização da luz, um fenômeno que ele inicialmente ignorou. Ele desenvolveu uma teoria da polarização cromática que contradiz resultados anteriores de Biot(1816), que afirma que a polarização da luz ocorria devido à reflexão ou à refração e que as diferentes cores da luz polarizada estavam associadas a diferentes tipos de vibração. Fresnel demonstrou que a luz polarizada poderia ser explicada por ondas transversais, um conceito considerado mecanicamente impossível na época. Ele propôs que o éter, o meio através do qual a luz se propagava, possuía uma resposta elástica que permitia ondas transversais.

A sofisticação matemática das teorias de Fresnel eventualmente convenceu muitos adversários da teoria ondulatória. A comunidade científica começou a aceitar que a teoria corpuscular não conseguia explicar a vasta gama de fenômenos que a teoria de Fresnel abrange de maneira quantitativa e unificada.

Os resultados de Fresnel, baseados em experimentos e princípios matemáticos, como a interferência e o caráter senoidal das vibrações associadas a cores simples, foram amplamente aceitos na década seguinte à sua morte. Embora seu modelo do éter não tenha tido o mesmo sucesso duradouro, as leis matemáticas que ele derivou para a propagação da luz polarizada foram fundamentais para a ótica.

Fresnel desempenhou um papel fundamental na validação e aceitação da teoria ondulatória da luz. Seus métodos rigorosos e resultados precisos destacaram-se como provas decisivas contra a teoria corpuscular, solidificando a teoria ondulatória na física do século XIX.

Referências:

DARRIGOL, Olivier. **A history of optics from Greek antiquity to the nineteenth century**. OUP Oxford, 2012.

E.2 QUESTONÁRIO

NOME DA ESCOLA		
Professor:		
Turma:	Data: ___/___/_____	Turno:
Alunos(as):		

ATIVIDADE 2 - COMPORTAMENTO ONDULATÓRIO DA LUZ: QUESTÕES DA LEITURA DE TEXTO

1. Qual a importância de questionar e testar teorias científicas antigas com novas tecnologias e métodos?

Possível discussão: A necessidade de revisitar e testar teorias para validar ou refutar ideias antigas, levando a avanços científicos como os feitos por Kepler e Fresnel.

2. De que maneira as teorias ópticas desenvolvidas por diferentes culturas e cientistas ao longo da história influenciaram o progresso científico?

Possível discussão: A troca de conhecimento entre culturas e a construção cumulativa do conhecimento científico, destacando contribuições de gregos, árabes e europeus.

3. Por que é importante para a ciência ter debates e, às vezes, discordâncias entre cientistas sobre teorias como a da luz?

Possível discussão: O papel das controvérsias científicas no avanço do conhecimento, levando a novas investigações e descobertas mais precisas.

Discussão sobre Aplicações Modernas

4. Como os conceitos de óptica desenvolvidos ao longo da história são aplicados nas tecnologias modernas que usamos hoje?

Possível discussão: Aplicações práticas em lentes, microscópios, telescópios, e tecnologias como lasers e fibras ópticas.

5. Que impacto você acha que a compreensão da natureza da luz teve no desenvolvimento de outras áreas da ciência e tecnologia?

Possível discussão: A interconexão entre a óptica e outras disciplinas, como física quântica, engenharia, medicina, e comunicação

6. Como a evolução das teorias sobre a luz reflete a natureza progressiva do conhecimento científico?

Possível discussão: A visão da ciência como um processo de construção contínua, onde cada descoberta se baseia em trabalhos anteriores e abre caminho para novas perguntas.

7. O que a história do estudo da luz nos ensina sobre a natureza da investigação científica e o papel da observação e experimentação?

Possível discussão: A importância da curiosidade, da observação detalhada, e do pensamento crítico na ciência, exemplificados pelos trabalhos de cientistas como Alhazen, Hooke, e Huygens.

APÊNDICE F - SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL: DIFRAÇÃO POR UM ORIFÍCIO

ATIVIDADE 3 - SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

Caro aluno, nesta atividade vamos usar a simulação "INTERFERÊNCIA DE ONDA" como auxiliar para entender a difração, a partir dela vamos visualizar o que ocorre ao se passar um feixe de luz por pequenos orifícios. Siga as instruções e discuta com seus colegas e professor para resolver os questionamentos propostos.

1. Observe a parte inferior do quadro, que representa o orifício da máscara, onde podemos ver botões que aumentam e diminuem o diâmetro do orifício.

a) Selecione o diâmetro de 0,04 mm, aperte o botão vermelho no canto superior direito para ligar o laser e observe atentamente a figura projetada no anteparo. Crie hipóteses sobre como a figura se comporta se aumentarmos o diâmetro do orifício da máscara. (Se achar necessário, faça desenhos e esquemas para explicar.)

b) Agora, aumente o diâmetro do orifício da máscara e observe o que ocorre. Após a observação da simulação, o que vocês podem afirmar sobre a hipótese formulada? Ela se confirmou? Caso não tenha sido confirmada, revise a hipótese e o argumento no espaço abaixo.

2. No canto superior direito podemos observar um botão que permite mudar o comprimento de onda do laser(cor)

a) Crie hipóteses sobre como a figura se comporta se aumentarmos ou diminuímos o comprimento de onda do laser. (Se achar necessário, faça desenhos e esquemas para explicar.)

b) Agora, aumente e diminua o comprimento de onda do laser e observe o que ocorre. Após a observação da simulação, o que vocês podem afirmar sobre a hipótese formulada? Ela se confirmou? Caso não tenha sido confirmada, revise a hipótese e o argumento no espaço abaixo.

3. Na lateral da máscara existem botões que permitem mudar a forma do orifício.

a) Crie hipóteses sobre como a figura se comporta se mudarmos o formato do orifício para diferentes formas. (Se achar necessário, faça desenhos e esquemas para explicar.)

b) Agora, mude para as diferentes formas e observe o que ocorre. Após a observação da simulação, o que vocês podem afirmar sobre a hipótese formulada? Ela se confirmou? Caso não tenha sido confirmada, revise a hipótese e o argumento no espaço abaixo.

4. Ao estarmos com a máscara com orifício quadrado, observe a parte onde podemos ver botões que aumentam e diminuem os lados do orifício da máscara, ele está configurada para que os lados sejam iguais, que significa que o formato do orifício é um quadrado, se diminuirmos um lado até o mínimo o formato do orifício ficará estreito simulando uma fenda.

a) Crie hipóteses sobre como a figura se comporta se diminuirmos um dos lados. (Se achar necessário, faça desenhos e esquemas para explicar.)

b) Agora, diminua um lado até o mínimo e observe o que ocorre. Após a observação da simulação, o que vocês podem afirmar sobre a hipótese formulada? Ela se confirmou? Caso não tenha sido confirmada, revise a hipótese e o argumento no espaço abaixo.

c) Crie hipóteses sobre o que ocorre com a figura projetada se invertermos a fenda, ou seja, trocar o lado que está estreito. (Se achar necessário, faça desenhos e esquemas para explicar.)

d) Agora, troque os lados colocando o que estava no mínimo no máximo e o que estava no máximo no mínimo e observe o que ocorre. Após a observação da simulação, o que vocês podem afirmar sobre a hipótese formulada? Ela se confirmou? Caso não tenha sido confirmada, revise a hipótese e o argumento no espaço abaixo.

APÊNDICE G - LABORATÓRIO ABERTO: MENSURANDO A ESPESSURA DO FIO DE CABELO

ATIVIDADE 4 – LABORATÓRIO ABERTO: MENSURANDO A ESPESSURA DO FIO DE CABELO

Caro aluno, nesta atividade vamos usar o fenômeno de difração para mensurarmos a espessura de um fio de cabelo. Siga as instruções e discuta com seus colegas e professor para resolver os questionamentos propostos.

Laboratório aberto

1. **Montagem do Experimento:**

Caro aluno, a sua frente tem um conjunto de equipamentos contendo um base de suporte, um suporte para fio de cabelo, um laser, um anteparo, uma trena e uma régua.

Esse arranjo experimental pode ser montado da seguinte maneira

- Monte o laser no suporte e alinhe-o de modo que o feixe de luz seja perpendicular ao anteparo.
- Coloque o suporte para o fio de cabelo no caminho do feixe de laser, de modo que o fio esteja bem posicionado perpendicularmente ao feixe de luz.
- Posicione o anteparo a uma distância fixa (por exemplo, 1 metro) do fio de cabelo.

Investigando o padrão de difração:

Ligue o laser e ajuste a posição do fio de cabelo para que ele interrompa o feixe de luz, criando um padrão de difração visível no anteparo. Observe o padrão de difração criado no anteparo. Deve-se observar uma série de franjas brilhantes e escuras.

Arraste o fio de cabelo para frente e para trás e descreva abaixo o que você observou sobre os pontos iluminados no anteparo. Aconteceu o que você esperava? Se não, comente.

2. **Coleta de Dados:**

1. **Medindo a distância (D) e a separação entre os pontos de luz (Δy):**
   - Meça e registre a distância exata (D) entre o fio de cabelo e o anteparo usando a trena.
   - Meça e registre a separação**(Δy**) entre os pontos de luz (Distância entre as franjas) no anteparo usando uma régua.

(*) Faça o procedimento acima duas vezes e anote no quadro abaixo

distância (D) ao anteparo	Separação entre os pontos de luz (Δy):

3. Compartilhamento dos valores de distância (D) e a separação entre os pontos de luz (Δy) com os colegas

Grupo	Distância (D) ao anteparo	Separação entre os pontos de luz (Δy):
1		
2		
3		
4		

Usar Google Sheets para traçar o gráfico e calcular o coeficiente angular da reta.

Print da tela do Google Sheets.

Coloque aqui o valor encontrado:

Para chegar a esse resultado utilizamos duas grandezas físicas do problema aberto, quais sejam, distância ao anteparo e separação entre as franjas de luz. No espaço abaixo crie hipóteses sobre quais outras grandezas físicas podem ser levadas em consideração no problema proposto.

Agora, discuta com o professor e com os colegas quais outras grandezas físicas podem ser levadas em consideração no problema proposto e compare com as suas hipóteses. As suas hipóteses se confirmaram? Se não, explique por que e escreva abaixo quais são essas grandezas.

Agora, sabendo que o comprimento de onda do laser é um valor constante e fornecido pelo fabricante e é de aproximadamente 650nm formule uma hipótese sobre a relação matemática

entre o comprimento de onda, a espessura do fio de cabelo e coeficiente angular do gráfico D versus Δy. Escreva abaixo a hipótese da fórmula matemática.

Agora, usando o valor numérico obtido por meio do google sheets e o valor fornecido pelo fabricante do laser calcule o valor da espessura do fio de cabelo

Dicas para os Alunos:

- Certifique-se de que o fio de cabelo esteja bem esticado e posicionado perpendicularmente ao feixe de laser.
- Meça a distância entre as franjas com precisão, utilizando a régua ou a trena.
- Realize múltiplas medições de Δy e calcule a média para obter um resultado mais preciso.

Segurança:

- Nunca olhe diretamente para o feixe de laser.

APÊNDICE H - PRÁTICA EXPERIMENTAL MEDIDA DO COMPRIMENTO DE ONDA DO LASER

ATIVIDADE 5 – PRÁTICA EXPERIMENTAL: MEDIDA DO COMPRIMENTO DE ONDA DO LASER

Caro aluno, nesta atividade vamos usar o fenômeno de difração para medir o comprimento de onda da luz emitida por um laser utilizando o padrão de difração produzido ao incidir em um fio de cabelo, aplicando o princípio de Babinet. Siga as instruções e discuta com seus colegas e professor para resolver os questionamentos propostos.

Prática experimental

O padrão de difração produzido por um feixe laser quando atinge um fio de cabelo é muito similar ao da fenda, exceto na pequena região dentro do feixe. Isto pode ser explicado a partir do princípio de Babinet de máscaras complementares.

Materiais necessários

- Laser de baixa potência (de preferência, laser pointer)
- Fio de cabelo humano
- Suporte para fixação do fio de cabelo (pode ser um suporte de papelão ou outro material rígido)
- Régua ou fita métrica
- Papel milimetrado ou anteparo branco
- Caneta e papel para anotações
- Calculadora científica

Procedimento experimental

1. Montagem do experimento:
- Fixe o fio de cabelo no suporte, esticando-o suavemente para que fique reto. Certifique-se de que ele esteja bem posicionado e firme.
- Posicione o laser de modo que o feixe incida perpendicularmente ao fio de cabelo. Ajuste a distância entre o laser e o fio para aproximadamente 1 metro.

2. Projeção do padrão de difração:
- Coloque o papel milimetrado ou o anteparo branco a uma distância conhecida e fixa (por exemplo, 1 metro) atrás do fio de cabelo. Certifique-se de que o feixe de laser passe pelo fio de cabelo e atinja o anteparo.
- Ligue o laser e observe o padrão de difração formado no anteparo. O padrão deve consistir em uma série de franjas claras e escuras.

3. Medição das franjas de difração:
- Meça a distância entre o centro da franja central (a franja mais brilhante) e o centro de uma franja escura adjacente. Esta distância será chamada de (y).

- Anote a distância (L) entre o fio de cabelo e o anteparo.

- Repita a medição para várias franjas, se possível, e faça uma média para aumentar a precisão dos resultados.

4. Cálculo do comprimento de onda:
- Use a fórmula da difração para calcular o comprimento de onda (λ) da luz:

$$\lambda = \frac{dy}{L}$$

Onde:

- λ é o comprimento de onda da luz;
- d é o diâmetro do fio de cabelo (pode ser medido com um micrômetro ou obtido de uma referência padrão);
- y é a distância entre a franja central e uma franja escura;
- L é a distância entre o fio de cabelo e o anteparo.

5. Análise dos Resultados:
- Compare o valor experimental obtido com o valor teórico do comprimento de onda do laser (geralmente fornecido pelo fabricante). Discuta possíveis fontes de erro e como elas podem ter afetado o experimento.

APÊNDICE I - QUESTÕES ABERTAS: IDENTIFICAÇÃO DA GEOMETRIA DAS ABERTURAS PELOS PADRÕES DE DIFRAÇÃO

ATIVIDADE 6 – QUESTÕES ABERTAS: IDENTIFICAÇÃO DA GEOMETRIA DAS ABERTURAS PELOS PADRÕES DE DIFRAÇÃO

Caro aluno, nesta atividade vamos analisar figuras de diferentes padrões de difração gerados por aberturas de várias geometrias e identificar a forma da abertura responsável por cada padrão. Siga as instruções e discuta com seus colegas e professor para resolver os questionamentos propostos.

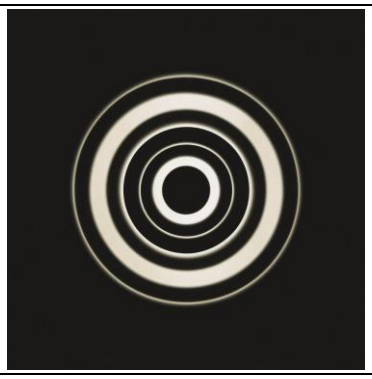
Questões abertas

Procedimento

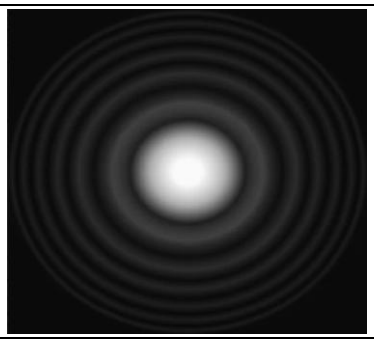
1. Observação das figuras:
Olhe atentamente para cada figura apresentada, que representa um padrão de difração gerado por um feixe de laser ao passar por diferentes aberturas.

2. Questões abertas:

Figura 1 - Padrão Circular: Observe o padrão de difração apresentado. Qual é a forma da abertura que você acredita ter gerado esse padrão? Descreva as características do padrão que levaram você a essa conclusão.

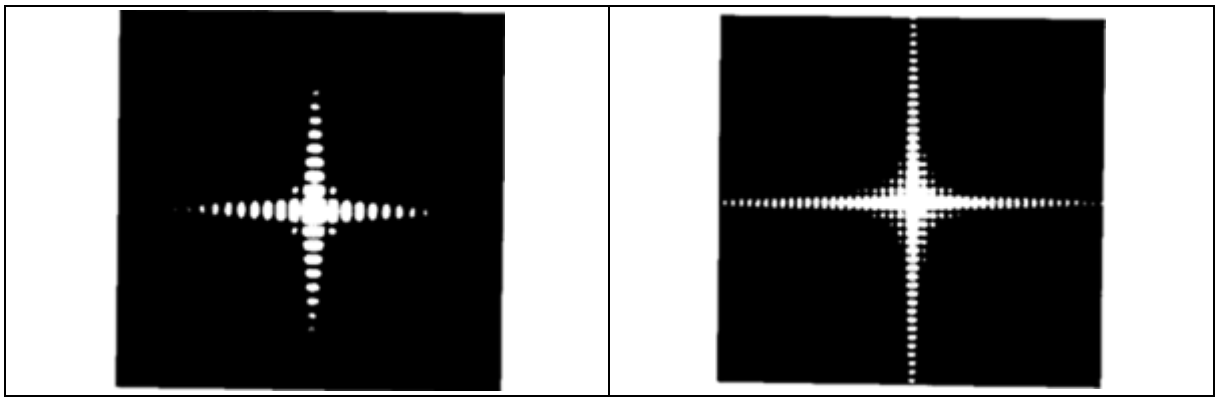


Fonte:ideogram



Fonte: https://static.mundoeducacao.uol.com.br/mundoeducacao/2022/04/1-difracao-abertura-circular.jpg

Figura 2 - Padrão Quadrado: Ao analisar o padrão de difração dessa figura, qual geometria de abertura você considera responsável por ele? Quais aspectos do padrão apoiam sua hipótese?



Fonte: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4349291/mod_resource/content/1/interferencia_difracao.pdf

Figura 3 - Padrão Retangular: Examine o padrão de difração mostrado. Qual é a forma da abertura que poderia ter produzido esse padrão? Justifique sua resposta com base nas características observadas.

Figura 4 - Padrão Hexagonal: Considerando o padrão de difração apresentado nesta figura, qual é a provável geometria da abertura? Quais elementos do padrão sugerem essa forma específica?

Figura 5 - Outros Polígonos: Para cada padrão de difração mostrado, analise as características visíveis e determine a forma da abertura que poderia ter gerado cada padrão. Explique como as propriedades do padrão ajudam a identificar a geometria da abertura.

3. Discussão:

Compare suas respostas com as de seus colegas e discuta como os diferentes formatos de abertura influenciam os padrões de difração observados.

Explore como o princípio de Huygens e a teoria da difração explicam a relação entre a geometria da abertura e os padrões resultantes.

4. Conclusão:

Redija uma conclusão sobre a relação entre a forma das aberturas e os padrões de difração gerados. Discuta a importância de reconhecer essa relação no estudo da óptica e como isso pode ser aplicado em contextos práticos.

ANEXO A – DECLARAÇÃO DE ANUÊNCIA PRÉVIA DA SECRETARIA DE ESTADO DA EDUCAÇÃO DO GOVERNO DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO (SEDU) PARA REALIZAÇÃO DA PESQUISA

GOVERNO DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO
SECRETARIA DE ESTADO DA EDUCAÇÃO

DECLARAÇÃO DE ANUÊNCIA PRÉVIA

Eu, **VITOR AMORIM DE ANGELO,** na qualidade de responsável pela **SECRETARIA DE ESTADO DA EDUCAÇÃO DO ESPÍRITO SANTO – SEDU/ES,** autorizo a realização da pesquisa intitulada "**Explorando a difração da luz por meio do ensino por investigação: desenvolvimento de práticas científicas e epistêmicas dos estudantes**", a ser conduzida sob a responsabilidade do pesquisador **Walackson Luander Bolsoni Capato**, sendo orientado pelo professor **Jardel da Costa Brozeguini**. Declaro, ainda, que esta instituição apresenta infraestrutura necessária à realização da referida pesquisa.

Esta declaração é válida apenas no caso de haver parecer favorável do Comitê de Ética em Pesquisa.

Vitória, 09 de agosto de 2024.

VITOR AMORIM DE ANGELO
Secretário de Estado da Educação
(Assinado Eletronicamente)

2024-1WVCCB - E-DOCS - CÓPIA SIMPLES 09/08/2024 11:26 PÁGINA 1 / 2

ANEXO B – PARECER CONSUBSTANCIADO DO COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA COM SERES HUMANOS (CEP)

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO ESPÍRITO SANTO - IFES

PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: EXPLORANDO A DIFRAÇÃO DA LUZ POR MEIO DO ENSINO POR INVESTIGAÇÃO: DESENVOLVIMENTO DE PRÁTICAS CIENTÍFICAS E EPISTÊMICAS DOS ESTUDANTES

Pesquisador: WALACKSON LUANDER BOLSONI CAPATO

Área Temática:

Versão: 3

CAAE: 82319624.6.0000.5072

Instituição Proponente: INSTITUTO FEDERAL DE EDUCACAO CIENCIA E TECNOLOGIA DO ESPIRITO

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 7.207.496

Apresentação do Projeto:

Projeto de pesquisa de Mestrado, vinculado ao Programa Nacional de Pós-graduação em Ensino de Física ofertado pela Sociedade de Física em parceria com o Ifes ¿ Campus Cariacica, tendo como orientador o Professor Doutor Jardel da Costa Brozeguini.

O trabalho investigará o impacto do ensino por investigação durante o desenvolvimento de práticas científicas e epistêmicas de estudantes. As práticas estarão relacionadas ao estudo da difração da luz. A proposta do projeto é implementar e analisar uma Sequência de Ensino por Investigação (SEI) - composta por sete (7) aulas abordanmdo o fenômeno da difração da luz - em uma turma do ensino médio da rede estadual do Espírito Santo. Para isso, o autor informa que ¿foi desenvolvido material didático específico e uma série de atividades práticas que serão aplicadas durante as aulas¿. Segundo ele, ao longo dessas sete aulas os participantes estarão envolvidos em ¿atividades expositivas e experimentais¿.

A produção de dados será realizada por meio de gravações de áudio durante as aulas, registros escritos feitos pelos estudantes e pelo pesquisador em seu diário de bordo, o que, na visão do pesquisador, permitirá a ¿análise qualitativa do desenvolvimento das práticas investigativas e da aprendizagem dos estudantes¿.

Endereço: Avenida Rio Branco, nº 50, 4º andar sala CEP
Bairro: Santa Lúcia **CEP:** 29.056-255
UF: ES **Município:** VITORIA
Telefone: (27)3357-7518 **Fax:** (27)99286-3660 **E-mail:** etica.pesquisa@ifes.edu.br

Metodologia Proposta

Sequência de Ensino Investigativa (SEI), que consiste em um conjunto de aulas elaboradas com caráter investigativo. -

De acordo com as informações prestadas, a ¿primeira interação com os alunos ocorrerá por meio de uma dinâmica expositiva, na qual será apresentada a proposta da sequência de ensino, bem como os termos de consentimento livre e esclarecido (TCLE).

Quanto a SEI, a aula inicial consistirá na apresentação de uma situação-problema e na entrega do material necessário para a sua resolução. A turma será dividida em grupos de quatro estudantes, sendo que cada grupo receberá um roteiro próprio para a realização das atividades investigativas. Essa etapa corresponde à distribuição dos materiais.

Os grupos serão mantidos para as próximas atividades e, caso um estudante falte ou opte por não participar da atividade, o grupo ficará incompleto, sendo que esse estudante receberá uma aula de reposição para abordar o conteúdo desenvolvido.

Durante as aulas serão fornecidas as orientações necessárias para a resolução do problema, por meio da mediação do professor. Portanto, o professor deverá monitorar os grupos e auxiliá-los sem fornecer diretamente a solução do problema. Dessa forma, ao longo da aula, os estudantes deverão se engajar em discussões em grupo, analisar o problema, criar hipóteses e testá-las, a fim de apresentar uma solução para o problema proposto.

Para concluir a SEI, será realizada uma atividade final na qual os alunos terão a oportunidade de se expressar por meio da escrita, desenhos e diagramas. Nessa etapa, cada aluno deverá individualmente esboçar os conhecimentos utilizados para a resolução do problema, apresentando-os em forma de textos e diagramas¿.

Quanto aos participantes escolhidos, o autor informou que a escolha está relacionada à turma, sem que ¿nenhum critério individual sobre os mesmos¿ foi levado em consideração. Informou também que aqueles que não desejrem fazer parte da pesquisa não terão dados coletados, mas participararão de todas as atividades previstas.

Ainda acrescentou que ¿caso não seja possível os estudantes que não desejarem participar da pesquisa participarem da aula sem interferirem nos resultados da pesquisa. os mesmos serão encaminhados para sala de apoio pedagógico da

escola e contemplados com atividades às quais os auxiliaram na aprendizagem do conteúdo garantindo assim que não haja nenhum prejuízo educacional.

Metodologia de Análise de Dados

O pesquisador informa que `serão analisados os dados de forma qualitativa através de diário



de bordo, atividades, pedagógicas escritas pelos estudantes e analise de áudios gravados durante as discuções dos estudantes.
Serão analizadas as práticas dos estudantes na resolução dos problemas propostos nos niveis de propor, comunicar, avaliar e legitimar o onhecimento nas discussões em grupos¿.
Não foi apresentada a teoria que embasará a análise dos dados

Orçamento Financeiro
Pilhas para experimentos (Custeio): R$ 10,00
Total: R$ 10,00

Número de participantes: 20
Critério de Inclusão
A escolha da turma a qual será aplicada a pesquisa foi feita devido a frequência constante da turma na escola o que facilita a pesquisa devido a sua realização ocorrer em uma sequencia de ensino por investigação e que para que a pesquisa tenha sucesso é necessário que a maioria dos estudantes participem de todas as aulas. E o segundo critério para a escolha foi a quantidade de aulas semanais na turma sendo que esta possui 2 aulas semanais e as outras turmas apenas uma.

Objetivo da Pesquisa:
Objetivo Primário
Analisar as contribuições do ensino por investigação na temática da difração da luz no desenvolvimento das práticas científicas e epistêmicas dos estudantes em uma turma do ensino médio.

Objetivos específicos de ensino
Os objetivos específicos de ensino decorrentes do objetivo geral são:
i. Identificar o fenômeno de difração da luz emituações cotidianas. Interpretar situações problemas que envolvam difração.
ii. Solucionar problemas que envolvam difração. Analisar situações que envolvam difração da luz.
iii. Compreender o fenômeno de difração da luz.
iv. Elaborar hipóteses para explicação de enômenos físicos. Propor soluções para problemas



envolvendo difração.

Objetivos específicos de pesquisa
Os objetivos específicos de pesquisa decorrentes do objetivo geral são:
i. Estruturar uma SEI com o tema central de difração da luz.
ii. Desenvolver material didático para o ensino da difração da luz, com ênfase no desenvolvimento de práticas científicas e epistêmicas.
iii. Investigar o nível de envolvimento dos alunos na realização de atividades investigativas.
iv. Verificar se houve aprendizagem conceitual do fenômeno de difração da luz a partir da sequência didática.
v. Identificar indícios de desenvolvimento de práticas epistêmicas e científicas por parte dos estudantes durante a SEI.

Avaliação dos Riscos e Benefícios:
Riscos
A pesquisa, por se tratar de coleta de dados em sala de aula, possui os mesmos riscos envolvidos em prticas pedagógicas cotidianas, a sabero: possibilidade de constrangimento, desconforto, medo, vergonha, estresse ou cansaço ao participar
das atividades e responder às perguntas.
Para atenuar os riscos visando evitá-los e minimizar seus danos caso ocorra alguma situação que possa causar ao estudante constrangimento, desconforto, medo, vergonha, estresse ou cansaço o professor agirá de prontidão visando tornar a situação confortável para todos e que nenhum dano seja causado.
Benefícios
A sequencia de ensino por investigação(SEI) visa proporcionar ao estudante mais autonomia na resolução de problemas e estimular o desenvolvimento de práticas científicas e epstêmicas.
Sendo assim o principal beneficio dessa pesquisa será o possivel desenvolvimento da autonomia do estudante e desenvolvimento de habilidades de resoluções de problemas.

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:
De acordo com as considerações feitas pelo autor a respeito do tema estudado, é possível concluir que se trata de um estudo relevante para o seu campo.



Não restando pendências ou inadequações no que refere à análise por este Comitê, sugere-se que o projeto seja aprovado e liberado para ser executado.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

1. Apresentou Folha de Rosto, corretamente preenchida, e assinada pelo pesquisador e pela senhora Jocélia Abreu Barcellos Vargas, Diretora Geral do Ifes ¿ Campus Cariacica.

2.1 Apresentou Declaração de Anuência Prévia assinada pelo senhor Vitor Amorim de Angelo, Secretário de Educação do Estado do Espírito Santo.

2.2. Apresentou Termo de Anuência assinado pela senhora Taís Gonçalves Gadoni, Diretora da Escola Estadual de ensino Médio ¿Irmã Dulce Lopes Ponte¿, localizada na cidade de Viana ¿ ES.

3. Apresentou Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) destinado aos responsáveis pelos participantes.

4. Apresentou Termo de Assentimento Livre e Esclarecido (TALE) destinado aos participantes.

5. Apresentou, em seis arquivos diferentes, as atividades que serão conduzidas com vistas à produção/coleta de dados.

6. Apresentou Termo de Responsabilidade e Compromisso do Pesquisador, corretamente preenchido e assinado pelo pesquisador.

7. Apresentou Projeto de Pesquisa Detalhado.

8. Apresentou Autorização de Uso de Imagem e Som.

9. Apresentou Cronograma onde consta que a aplicação da SEI somente terá início em 25/11/2024.

Recomendações:

Sem recomendações

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Sem pendências ou inadequações

Considerações Finais a critério do CEP:

Ao término da pesquisa, encaminhar Relatório Final para análise por este Comitê.

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO ESPÍRITO SANTO - IFES

Continuação do Parecer: 7.207.496

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_2398566.pdf	07/10/2024 23:24:21		Aceito
Declaração de Pesquisadores	carta_resposta.pdf	07/10/2024 23:23:47	WALACKSON LUANDER BOLSONI CAPATO	Aceito
Cronograma	Cronograma_Walackson.pdf	07/10/2024 23:23:10	WALACKSON LUANDER BOLSONI CAPATO	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	Projeto_Walackson.docx	07/10/2024 23:22:27	WALACKSON LUANDER BOLSONI CAPATO	Aceito
Declaração de Instituição e Infraestrutura	Termo_de_Anuencia.pdf	07/10/2024 23:21:41	WALACKSON LUANDER BOLSONI CAPATO	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	Termo_de_Assentimento_Livre_e_Esclarecido_para_menores_de_18_ano_MNPEF.docx	07/10/2024 23:21:05	WALACKSON LUANDER BOLSONI CAPATO	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	Termo_de_Consentimento_Livre_e_Esclarecido_responsavel_pelo_estudante_MNPEF.docx	07/10/2024 23:20:34	WALACKSON LUANDER BOLSONI CAPATO	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	termo_autorizacao_utilizacao_imagem_som_voz.docx	08/09/2024 18:28:59	WALACKSON LUANDER BOLSONI CAPATO	Aceito
Declaração de Instituição e Infraestrutura	Minuta_de_Declaracao_de_Anuencia_Previa_Walackson_Luander_Bolsoni_Capato.pdf	08/09/2024 18:20:46	WALACKSON LUANDER BOLSONI CAPATO	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	ATIVIDADE_6_QUESTOES_ABERTAS.docx	08/09/2024 18:15:42	WALACKSON LUANDER BOLSONI CAPATO	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	ATIVIDADE_5_PRATICA_EXPERIMENTAL.docx	08/09/2024 18:15:10	WALACKSON LUANDER BOLSONI CAPATO	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	ATIVIDADE_4_ATIVIDADE_EXPERIMENTAL.docx	08/09/2024 18:14:57	WALACKSON LUANDER BOLSONI CAPATO	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	ATIVIDADE_3_SIMULACAO_COMPUTACIONAL.docx	08/09/2024 18:14:39	WALACKSON LUANDER BOLSONI CAPATO	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	ATIVIDADE_2_QUESTOES_DA_LEITURA_DO_TEXTO_COMPORTAMENTO_ONDULATORIO_DA_LUZ.docx	08/09/2024 18:14:29	WALACKSON LUANDER BOLSONI CAPATO	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura	ATIVIDADE_2_LEITURA_DE_TEXTO_COMPORTAMENTO_ONDULATORIO_	08/09/2024 18:14:21	WALACKSON LUANDER BOLSONI	Aceito

Endereço: Avenida Rio Branco, nº 50, 4º andar sala CEP
Bairro: Santa Lúcia **CEP:** 29.056-255
UF: ES **Município:** VITORIA
Telefone: (27)3357-7518 **Fax:** (27)99286-3660 **E-mail:** etica.pesquisa@ifes.edu.br

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO ESPÍRITO SANTO - IFES

Continuação do Parecer: 7.207.496

Investigador	A_LUZ.docx	08/09/2024 18:14:21	CAPATO	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	ATIVIDADE_1_DEMONSTRACAO_INVESTIGATIVA_PONTO_CLARO_DE_FRESNEL.docx	08/09/2024 18:12:40	WALACKSON LUANDER BOLSONI CAPATO	Aceito
Declaração de Pesquisadores	termo_responsabilidade_compromisso_pesquisador_responsavel.pdf	08/09/2024 17:46:37	WALACKSON LUANDER BOLSONI CAPATO	Aceito
Folha de Rosto	folhaDeRosto_Walackson.pdf	13/08/2024 16:27:22	WALACKSON LUANDER BOLSONI CAPATO	Aceito

Situação do Parecer:
Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:
Não

VITORIA, 05 de Novembro de 2024

Assinado por:
Alexandre Krüger Zocolotti
(Coordenador(a))

Endereço: Avenida Rio Branco, nº 50, 4º andar sala CEP
Bairro: Santa Lúcia **CEP:** 29.056-255
UF: ES **Município:** VITORIA
Telefone: (27)3357-7518 **Fax:** (27)99286-3660 **E-mail:** etica.pesquisa@ifes.edu.br

ANEXO C – CARTA DE AUTORIZAÇÃO DA SECRETARIA DE ESTADO DA EDUCAÇÃO DO GOVERNO DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO (SEDU) PARA REALIZAÇÃO DA PESQUISA

GOVERNO DO ESTADO
DO ESPÍRITO SANTO
Secretaria da Educação

CARTA DE AUTORIZAÇÃO

Declaramos para os devidos fins que a realização da pesquisa intitulada "**Explorando a difração da luz por meio do ensino por investigação: desenvolvimento de práticas científicas e epistêmicas dos estudantes**", realizada por **Walackson Luander Bolsoni Capato**, sob o CPF ***.583.657-**, nas dependências da(s) unidade(s) abaixo listada(s), está autorizada mediante entrega de Parecer do Comitê de Ética do INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO ESPÍRITO SANTO – IFES com CAAE (Certificado de Apresentação de Apreciação Ética) nº 82319624.6.0000.5072.

Unidades em que a pesquisa será desenvolvida: EEEM "Irmã Dulce Lopes Ponte"

Vitória, 14 de novembro de 2024.

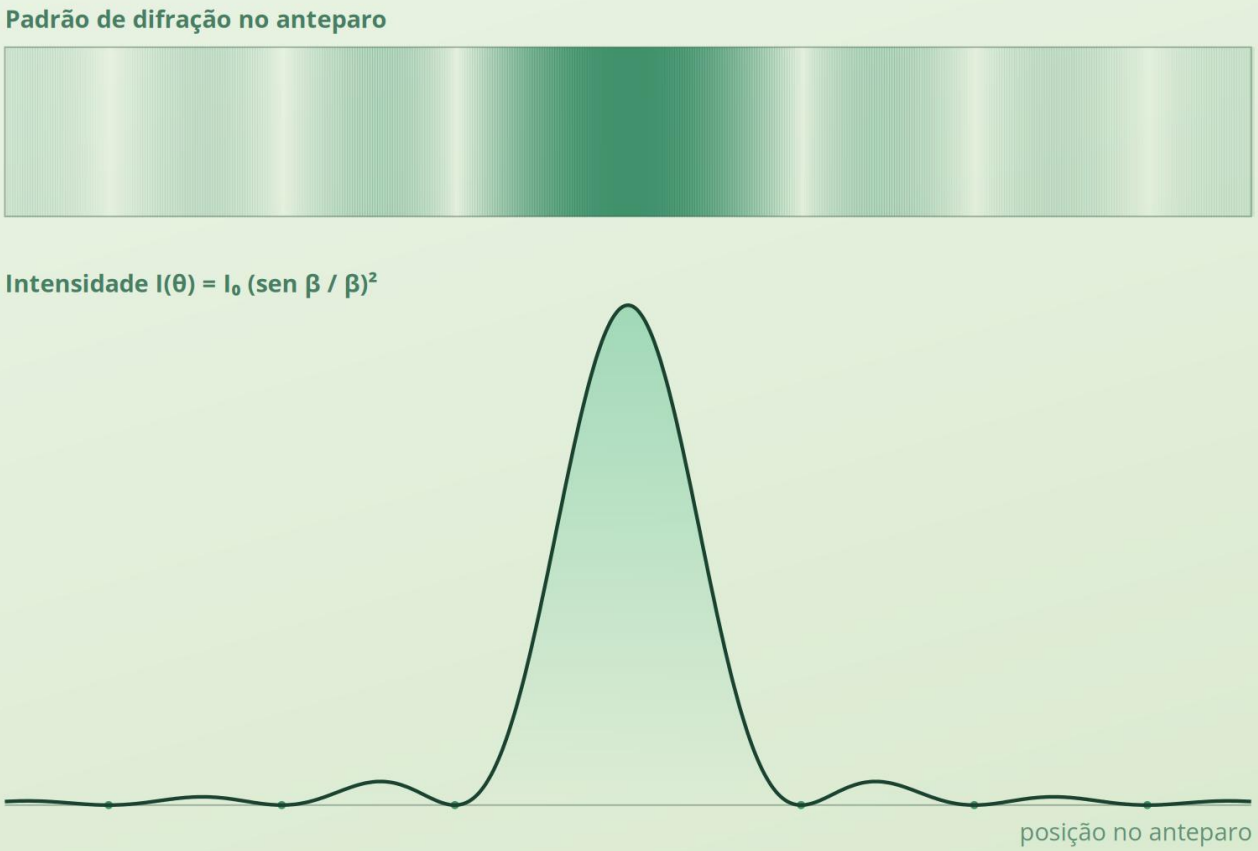
2024-WGTSN0 - E-DOCS - DOCUMENTO ORIGINAL 14/11/2024 10:44 PÁGINA 1 / 2

VITOR AMORIM DE ANGELO
Secretário de Estado da Educação
(Assinado Eletronicamente)

PRODUTO EDUCACIONAL

A ABORDAGEM DO ENSINO POR INVESTIGAÇÃO NO DESENVOLVIMENTO DAS PRÁTICAS CIENTÍFICAS E EPISTÊMICAS

EXPLORANDO A DIFRAÇÃO DA LUZ POR MEIO DE SIMULAÇÕES INTERATIVAS E PRÁTICAS EXPERIMENTAIS



Walackson Luander Bolsoni Capato
Jardel da Costa Brozeguini

Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física · Produto Educacional

INSTITUTO FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA
POLO 33

Walackson Luander Bolsoni Capato

PRODUTO EDUCACIONAL

A ABORDAGEM DO ENSINO POR INVESTIGAÇÃO NO DESENVOLVIMENTO DAS PRÁTICAS CIENTÍFICAS E EPISTÊMICAS: EXPLORANDO A DIFRAÇÃO DA LUZ POR MEIO DE SIMULAÇÕES INTERATIVAS E PRÁTICAS EXPERIMENTAIS

CARIACICA
2026

Walackson Luander Bolsoni Capato

A ABORDAGEM DO ENSINO POR INVESTIGAÇÃO NO DESENVOLVIMENTO DAS PRÁTICAS CIENTÍFICAS E EPISTÊMICAS: EXPLORANDO A DIFRAÇÃO DA LUZ POR MEIO DE SIMULAÇÕES INTERATIVAS E PRÁTICAS EXPERIMENTAIS

Este produto educacional é parte integrante da dissertação: O DESENVOLVIMENTO DE PRÁTICAS CIENTÍFICAS E EPISTÊMICAS EM UMA SEQUÊNCIA DE ENSINO INVESTIGATIVA SOBRE DIFRAÇÃO DA LUZ: UMA ABORDAGEM POR MEIO DE SIMULAÇÕES INTERATIVAS E PRÁTICAS EXPERIMENTAIS, desenvolvida no âmbito do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, polo 33 – IFES, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador(es): Dr. Jardel da Costa Brozeguini

CARIACICA

2026

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – código de financiamento 001.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (Fapes) – Nº 101/2022.

Agradeço à Sociedade Brasileira de Física (SBF) pela idealização do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) e ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo (IFES) - campus Cariacica por ser um dos polos que oferecem este programa de pós-graduação no Brasil.

Agradeço ao meu professor e orientador, Dr. Jardel da Costa Brozeguini, por sua valiosa contribuição no desenvolvimento da dissertação de mestrado. Desde o momento em que aceitou conduzir meu trabalho de pesquisa, mostrou-se comprometido com o desenvolvimento desse projeto, orientando-me com sabedoria, paciência e dedicação. Sua participação foi fundamental para o desenvolvimento do meu projeto, contribuindo significativamente para o meu crescimento acadêmico e pessoal. Reconheço e sou profundamente grato pela sua exemplar dedicação e compromisso.

Agradeço a equipe da SEDU e da escola a qual apliquei meu produto educacional por acreditar no potencial deste trabalho e por aprovar a sua aplicação no ambiente escolar.

Agradeço também a todos que me apoiaram e acreditaram que seria possível a realização e conclusão deste trabalho.

APRESENTAÇÃO

Este guia didático é o resultado de uma pesquisa científica desenvolvida entre 2023 e 2026, no âmbito do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), realizado no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo – Campus Cariacica. O produto educacional apresentado está vinculado a uma dissertação de mestrado que investigou as contribuições de uma Sequência de Ensino por Investigação (SEI) sobre difração para o desenvolvimento das práticas científicas e epistêmicas dos estudantes.

A SEI foi implementada em uma turma do Ensino Médio da rede estadual de ensino do Espírito Santo, no município de Viana. Este material destina-se a professores de Física, oferecendo suporte didático para a implementação de aulas que promovam o desenvolvimento de práticas científicas e epistêmicas essenciais à cultura científica. A identificação e a análise dessas práticas fundamentam-se no referencial de Sasseron (2018) e Sasseron e Silva (2021), que as organizam em práticas epistêmicas, proposição, comunicação, avaliação e legitimação de ideias; e práticas científicas, trabalho com novas informações, levantamento e teste de hipóteses, e construção de explicações.

O planejamento desta SEI visou oferecer uma prática diversificada, composta por atividades que fomentam o trabalho colaborativo e a argumentação. Essas dimensões correspondem, respectivamente, ao domínio social do conhecimento científico e às práticas de avaliação e legitimação de ideias que se materializam nas interações discursivas em sala de aula. Tais dinâmicas objetivam potencializar o desenvolvimento das práticas científicas e epistêmicas, bem como o desenvolvimento de habilidades de raciocínio e de interação social dos estudantes ao longo do processo de ensino e aprendizagem.

Reconhecendo as diferentes realidades escolares, este guia permite adaptações conforme a disponibilidade de tempo ou de recursos. Na impossibilidade de aplicar a sequência em sua totalidade, o professor poderá selecionar as aulas mais condizentes com seu contexto. Além disso, em casos de limitação de materiais, as atividades de laboratório aberto e simulação podem ser adaptadas para o formato de

demonstrações investigativas, mantendo o caráter pedagógico e reduzindo a necessidade de recursos materiais.

As atividades, acompanhadas de orientações detalhadas, constituem a base deste guia. Seu objetivo primordial é auxiliar docentes que buscam diversificar suas estratégias didáticas e, simultaneamente, contribuir para a formação científica e crítica de seus estudantes.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 7
2 ENSINO POR INVESTIGAÇÃO, PRÁTICAS CIENTÍFICAS E EPISTÊMICAS 9
2.1 O ENSINO POR INVESTIGAÇÃO.....9
2.2 AS PRÁTICAS EPISTÊMICAS E O ENSINO DE CIÊNCIAS 14
2.3 O DESENVOLVIMENTO DE PRÁTICAS EPISTÊMICAS 20
3 SEQUÊNCIA DE ENSINO INVESTIGATIVA SOBRE DIFRAÇÃO DA LUZ: ATIVIDADES PARA O DESENVOLVIMENTO DE PRÁTICAS CIENTÍFICAS E EPISTÊMICAS NO ENSINO MÉDIO.....25
3.1 SEQUÊNCIA DE ENSINO INVESTIGATIVA SOBRE DIFRAÇÃO DA LUZ ...30
3.1.1 Atividade 1 - Explorando sombras: uma atividade investigativa 30
3.1.2 Atividade 2 – Texto investigativo sobre o comportamento ondulatório da luz.....33
3.1.3 Atividade 3 - Simulação computacional do comportamento ondulatório da luz.....39
4.1.1 Atividade 4 - Laboratório aberto: Mensurando a espessura do fio de cabelo 43
3.1.4 Atividade 5 - Prática experimental: Medida do comprimento de onda do laser 48
3.1.5 Atividade 6 - Questões abertas: Identificação da geometria das aberturas pelos padrões de difração 51
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS 57
REFERÊNCIAS 59

1 INTRODUÇÃO

É com grande satisfação que apresento este Produto Educacional, desenvolvido com o intuito de ser uma ferramenta prática, acessível e transformadora para as nossas aulas de Física. Se você, assim como eu, vivencia os desafios diários da sala de aula na Educação Básica, sabe o quanto pode ser desafiador engajar os estudantes no estudo de fenômenos físicos que, muitas vezes, parecem excessivamente abstratos e distantes de suas realidades.

Este material foi idealizado justamente para atuar nessa lacuna. Trata-se de uma proposta didática voltada para o ensino de óptica física, fundamentada no Ensino por Investigação e focado no desenvolvimento de práticas científicas e epistêmicas. Entendemos por práticas científicas e epistêmicas as ações por meio das quais os estudantes propõem, comunicam, avaliam e legitimam ideias durante o processo de construção do conhecimento, ou seja, ações que, no Ensino por Investigação, são mobilizadas a partir do engajamento com situações-problema (Sasseron, 2018). O objetivo central é conduzir o estudante da posição de espectador passivo ao papel de protagonista, engajando-o em práticas de proposição e avaliação de ideias por meio da investigação e da resolução de situações-problema.

Este produto é fruto de minha pesquisa de mestrado, sob a orientação do Prof. Dr. Jardel da Costa Brozeguini, no âmbito do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), no polo do Instituto Federal do Espírito Santo (Ifes) – *campus* Cariacica. Embora este material tenha nascido de uma dissertação acadêmica, ele foi concebido para ter autonomia: todo o conteúdo, os roteiros e as orientações metodológicas aqui presentes são autossuficientes e não requerem a consulta à dissertação original para sua compreensão ou aplicação.

O material destina-se a você, professor(a) de Física do Ensino Médio, e aos seus estudantes. A principal motivação para a sua criação nasceu da necessidade de materializar conceitos da óptica física, tradicionalmente ensinados de forma transmissiva e fortemente matematizada. Nossa intenção é fornecer um roteiro claro

e viável para a implementação do ensino por investigação, estimulando a autonomia intelectual e a formação de cidadãos críticos.

A expectativa é que este produto sirva como um catalisador para aulas mais dinâmicas e significativas. O guia detalha o uso de experimentos, textos e simuladores para o desenvolvimento do conteúdo. No entanto, sua abrangência vai além do laboratório equipado: a flexibilidade é um dos pilares desta proposta.

Você perceberá que as atividades podem ser adaptadas para diferentes realidades e modalidades, como o ensino regular, a Educação de Jovens e Adultos (EJA) ou o ensino em tempo integral. Além das aulas tradicionais, este material oferece excelentes alternativas para explorar o desenvolvimento de práticas científicas e epistêmicas, incentivando o trabalho em equipe, bem como a elaboração, discussão e validação de ideias.

Nas próximas páginas, você encontrará uma fundamentação teórica objetiva e focada na prática, seguida da descrição detalhada da sequência de atividades e de todos os roteiros necessários para a execução da proposta.

Sinta-se à vontade para adaptar, modificar e recriar as atividades sugeridas de acordo com o perfil dos seus estudantes e a infraestrutura da sua escola. Este produto educacional é, antes de tudo, um convite de professor para professor: que possamos juntos inovar e inspirar o fazer científico nas escolas públicas do nosso país.

2 ENSINO POR INVESTIGAÇÃO, PRÁTICAS CIENTÍFICAS E EPISTÊMICAS

2.1 O ENSINO POR INVESTIGAÇÃO

O ensino por investigação constitui uma abordagem pedagógica na qual o professor atua como mediador, criando condições intencionais para que os estudantes desenvolvam habilidades essenciais à construção do conhecimento científico. Para Carvalho (2018), essa metodologia incentiva os estudantes a pensarem sob a ótica e a lógica da ciência, instigando-os a expressarem oralmente argumentos claros que evidenciem a evolução de sua aprendizagem. Além disso, a autora destaca que tal abordagem promove a leitura crítica de conteúdos e a escrita autoral, garantindo a clareza e a apropriação das ideias apresentadas. Assim, compreendemos que essa perspectiva valoriza a bagagem de vida dos estudantes do Ensino Médio, transformando seus conhecimentos prévios em pontos de partida para a prática investigativa.

Nesse contexto, observamos que o ensino por investigação transcende a aplicação de técnicas isoladas, consolidando-se como uma postura pedagógica que expressa uma determinada compreensão sobre a natureza do conhecimento científico e sobre o papel do estudante em sua construção. Segundo Sasseron (2015, p. 58):

> [...] que o ensino por investigação extravasa o âmbito de uma metodologia de ensino apropriada apenas a certos conteúdos e temas, podendo ser colocada em prática nas mais distintas aulas, sob as mais diversas formas e para os diferentes conteúdos. Denota a intenção do professor em possibilitar o papel ativo de seu aluno na construção de entendimento sobre os conhecimentos científicos. Por esse motivo, caracteriza-se por ser uma forma de trabalho que o professor utiliza na intenção de fazer com que a turma se engaje com as discussões e, ao mesmo tempo em que travam contato com fenômenos naturais, pela busca de resolução de um problema, exercitam práticas e raciocínios de comparação, análise e avaliação bastante utilizadas na prática científica (Sasseron, 2015, p. 58).

Portanto, o Ensino por Investigação não se restringe a uma via de transmissão de conteúdos, mas configura-se como um mecanismo que permite ao estudante aprender enquanto desenvolve competências de raciocínio e pensamento crítico. Essa prática exige um planejamento minucioso que considere as interações discursivas como elemento central: a busca pela resolução de problemas reais, como

os desafios propostos sobre difração, auxilia no desenvolvimento não apenas conceitual, mas também epistêmico e social dos sujeitos.

Fundamentados em Carvalho (2013), compreendemos que ao apresentarmos um problema investigativo para resolução em sala de aula, proporcionamos condições estruturantes para que o estudante exercite o raciocínio e a construção do próprio conhecimento. Desta forma, o professor assume o papel de orientador e mediador, encaminhando as reflexões necessárias à construção de novos saberes e transferindo ao estudante a responsabilidade intelectual pelo processo cognitivo. Além disso, Carvalho (2011) destaca que a efetiva construção do conhecimento, mediada pela socialização de saberes entre docente e estudantes, exige um planejamento rigoroso e intencional. É nesse cenário que a autora propõe a estruturação de atividades sob a ótica do Ensino por Investigação, definindo o que compreende como Sequência de Ensino Investigativa (SEI):

> [...] sequências de atividades(aulas) abrangendo um tópico do programa escolar em que cada atividade é planejada, do ponto de vista do material e das interações didáticas, visando proporcionar aos alunos: condições de trazer seus conhecimentos prévios para iniciar os novos, terem ideias próprias e poder discuti-las com seus colegas e o professor passando do conhecimento espontâneo ao científico e adquirindo condições de entenderem conhecimentos já estruturados por gerações anteriores (Carvalho, 2013, p. 9).

Desta forma, verificamos que para a elaboração de uma SEI torna-se imperativa a organização de atividades-chave que sustentem o ciclo investigativo. Segundo Carvalho (2013), a sequência deve ser iniciada, prioritariamente, por uma situação-problema contextualizada (seja ela de natureza experimental ou teórica) capaz de introduzir o tópico em estudo e oferecer condições para que os estudantes manuseiem as variáveis relevantes. Esta etapa inicial deve ser sucedida por um momento de sistematização, preferencialmente por meio da leitura mediada, permitindo aos estudantes discutir e comparar suas estratégias de resolução com o conhecimento cientificamente sistematizado. A estrutura só se completa ao promovermos a contextualização do conhecimento no cotidiano dos estudantes, ressaltando a relevância social e tecnológica dos conceitos físicos.

Carvalho (2013) classifica os problemas que fundamentam a investigação em três categorias distintas: problemas experimentais, demonstrações investigativas e problemas não experimentais. A efetivação da abordagem ocorre mediante a escolha de problemas que dialoguem com a realidade de cada ambiente de ensino e os recursos disponíveis. Essa seleção é uma decisão estratégica do professor para transpor a curiosidade espontânea para o rigor do pensamento científico.

No que tange aos problemas experimentais, o material didático deve ser organizado, garantindo que os estudantes manejem os aparatos com autonomia e segurança. O desafio deve despertar o interesse dos estudantes sem, contudo, exauri-los com obstáculos puramente técnicos. Consideramos crucial a elaboração de materiais que mantenham um equilíbrio pedagógico: o problema não deve ser excessivamente simples, o que desmotivaria o estudante por falta de desafio, nem demasiadamente complexo, o que poderia levá-lo à desistência. Assim, valorizamos a bagagem de vida e a intuição física dos estudantes como ferramentas para a superação desses obstáculos intelectuais.

Nessa perspectiva, Carvalho (2013) estrutura a organização do problema experimental em quatro etapas interdependentes: (1) proposição do problema e distribuição do material, momento em que o professor apresenta o desafio e os instrumentos de investigação; (2) resolução do problema pelos estudantes, fase de manipulação, discussão nos grupos e teste de hipóteses; (3) sistematização dos conhecimentos, etapa de compartilhamento das soluções encontradas entre os grupos e o professor; e (4) registro autoral, momento de formalização individual ou coletiva das conclusões atingidas.

Essa organização sustenta o engajamento em práticas epistêmicas e científicas, uma vez que cada fase exige diferentes movimentos discursivos e cognitivos dos estudantes. No referencial de Sasseron (2018) e Sasseron e Silva (2021), as práticas epistêmicas compreendem a proposição (PE1), a comunicação (PE2), a avaliação (PE3) e a legitimação de ideias (PE4); as práticas científicas abrangem o trabalho com novas informações (PC1), o levantamento e teste de hipóteses (PC2) e a construção de explicações e justificativas (PC3). Essas práticas não ocorrem de forma isolada ou

sequencial: elas se inter-relacionam nas interações discursivas e podem ser identificadas concomitantemente durante as atividades investigativas (Sasseron; Silva, 2021). A estrutura da SEI cria condições favoráveis ao desenvolvimento dessas práticas, na medida em que cada etapa, da situação-problema à sistematização, exige diferentes movimentos epistêmicos dos estudantes.

Em consonância com Zômpero e Laburú (2011), o Ensino por Investigação envolve o estudante na resolução de problemas autênticos, promovendo a formulação de hipóteses, a análise de evidências e a construção de explicações fundamentadas. Embora existam diferentes nomenclaturas (como *inquiry*, ensino por projetos ou resolução de problemas), todas compartilham elementos estruturantes como a problematização, a argumentação e a comunicação de resultados. Tais elementos são fundamentais para que o estudante se torne sujeito ativo na produção de sentidos.

Essa multiplicidade de abordagens reforça a necessidade de um planejamento que priorize a investigação em detrimento da mera memorização. Ao valorizar a bagagem de vida dos estudantes, as negociações sobre significados complexos, como o comprimento de onda de um laser, tornam-se oportunidades para o exercício da crítica e da validação de modelos explicativos.

A necessidade de enculturação científica é corroborada por Coelho e Bodevan (2023), que destacam a urgência de inserir os estudantes ativamente no universo da ciência. No contexto da Física, isso significa romper com a tradição de aulas focadas na memorização mecânica de equações. De acordo com os autores, ao adotar a prática investigativa, o professor fornece ferramentas para a compreensão do mundo sob as lentes da ciência, transformando a sala de aula em um ambiente onde o questionamento e a construção de modelos ganham protagonismo.

Munford e Lima (2007) ressaltam que o Ensino por Investigação não se resume à execução de experimentos, mas à problematização de situações que levem à construção ativa de explicações. As autoras enfatizam a formulação de hipóteses e a análise de evidências, aproximando o estudante da natureza processual da ciência. Driver, Newton e Osborne (2000) acrescentam que a argumentação científica é

central, pois permite confrontar ideias e construir consensos baseados em evidências, consolidando a ciência como um empreendimento coletivo e dialógico.

Carvalho (2022) pontua que o Ensino por Investigação pressupõe práticas discursivas planejadas, nas quais o professor conduz o diálogo para favorecer o raciocínio, auxiliando na transição entre o conhecimento cotidiano e o científico. O docente atua como um mediador epistemológico, guiando o estudante sem oferecer respostas diretas. Assim, o protagonismo discente é central: cabe ao estudante construir significados e testar explicações, enquanto o professor facilita a autonomia intelectual e o engajamento (Munford e Lima, 2007; Carvalho, 2018; Zômpero e Laburú, 2011).

Do ponto de vista cognitivo, o Ensino por Investigação proporciona um ambiente de aprendizagem ativo, diferindo das práticas tradicionais em que o aluno apenas segue roteiros predefinidos. A investigação escolar envolve incertezas e debates, permitindo que os alunos reflitam sobre o próprio raciocínio. Para que essa construção ocorra, a linguagem assume papel central: a apropriação dos saberes científicos ocorre, essencialmente, pela negociação de significados mediada pelo discurso. Mortimer e Scott (2002) destacam que a sala de aula é um espaço de encontro de diferentes visões de mundo, dependendo da qualidade das interações promovidas.

Nesse sentido, Mortimer e Scott (2002) propõem o conceito de “abordagem comunicativa”, classificando o discurso em duas dimensões: interativo/não interativo e dialógico/de autoridade. Enquanto no ensino tradicional predomina o discurso de autoridade, no Ensino por Investigação exige-se a mediação de momentos interativos e dialógicos, favoráveis ao desenvolvimento das práticas epistêmicas de avaliação (PE3) e legitimação de ideias (PE4), sem julgamento avaliativo imediato. É nessas interações que os estudantes externalizam o pensamento e se engajam em práticas científicas (Silva; Gerolin; Trivelato, 2018). O professor utiliza perguntas abertas para estimular a avaliação de ideias pelos pares; após a exploração dialógica, transita estrategicamente para um discurso de autoridade, ainda que interativo, na sistematização, garantindo o alinhamento aos modelos científicos validados.

Zômpero e Laburú (2011) reiteram que as atividades investigativas não seguem modelos algorítmicos, mas estruturam-se na problematização e na interpretação de evidências. O experimento torna-se um meio de raciocínio, promovendo o desenvolvimento de habilidades cognitivas complexas. Articulando essas ideias, Carvalho (2018) define que uma SEI deve contemplar: a situação-problema, o levantamento de hipóteses, a investigação e registro, a sistematização (confronto entre hipóteses e resultados) e a aplicação do conhecimento em novos contextos.

Estudos na área de Física demonstram o potencial dessa abordagem. Sasseron e Carvalho (2011) consolidam a relação entre alfabetização científica e investigação, enquanto Sasseron (2015) discute como o diálogo e a justificativa de ideias fortalecem o pensamento crítico. Silva, Gerolin e Trivelato (2018) evidenciam que a autonomia intelectual é ampliada quando o professor estimula a participação em práticas epistêmicas. No campo da óptica, Ribeiro e Verdeaux (2012) demonstram que atividades experimentais investigativas sobre reflexão, refração e difração potencializam o engajamento e a compreensão conceitual.

Por fim, a adoção do Ensino por Investigação alinha-se às diretrizes educacionais brasileiras. A Base Nacional Comum Curricular (BNCC) estabelece a Investigação Científica como eixo estruturante dos Itinerários Formativos, exigindo que o estudante vivencie a formulação de hipóteses e a elaboração de modelos (Brasil, 2018). Mais do que atender a uma exigência curricular, a estruturação de atividades como a SEI responde a décadas de pesquisa em educação científica que demonstram os limites do ensino transmissivo, tornando o Ensino por Investigação não apenas uma escolha metodológica, mas um caminho necessário à formação de estudantes capazes de pensar, argumentar e agir cientificamente.

2.2 AS PRÁTICAS EPISTÊMICAS E O ENSINO DE CIÊNCIAS

Desde o início dos anos 2000, o termo práticas epistêmicas tem sido empregado para designar atividades que rompem com o paradigma do ensino tradicional, no qual os estudantes assumem uma postura meramente receptiva, limitando-se à transcrição

de informações. Nesse sentido, as práticas epistêmicas designam processos educativos nos quais o estudante, ao longo da investigação, desenvolve habilidades científicas e torna-se capaz de elaborar novas ideias fundamentadas em sua própria estrutura cognitiva (Sasseron; Silva, 2021). Essas práticas constituem um eixo essencial do ensino contemporâneo de Física, pois deslocam o foco do acúmulo mecânico de fórmulas para uma construção ativa, crítica e socialmente situada do saber.

No campo da educação científica, compreender a Física implica reconhecer como o conhecimento é produzido e validado por meio da observação, da experimentação e da argumentação, superando a simples memorização de leis. O aprendizado deve oportunizar que os estudantes formulem hipóteses, testem evidências e reconstruam significados, aproximando-se da dinâmica de operação da ciência em contextos reais (Sandoval, 2014). Nesse sentido, a bagagem de vida dos sujeitos constitui elemento propulsor para que as discussões em sala de aula alcancem níveis de abstração condizentes com o fazer científico.

De acordo com Sasseron e Silva (2021), a terminologia “prática” refere-se à execução de atividades voltadas ao desenvolvimento do conhecimento, inerentes a uma cultura ou sociedade específica. Por sua vez, o termo “epistêmica” remete à natureza e à experiência do saber. As práticas epistêmicas configuram-se, portanto, como atividades manipulativas, discursivas e cognitivas mobilizadas para construir, avaliar ou legitimar o conhecimento científico no ambiente escolar, e seu desenvolvimento depende intrinsecamente da qualidade das interações estabelecidas entre os pares e o professor.

Fundamentados na perspectiva de Kelly e Licona (2018), compreendemos que as práticas epistêmicas constituem formas socialmente organizadas e realizadas por meio de interações, pelas quais os membros de um grupo propõem, comunicam, avaliam e legitimam afirmações de conhecimento. Depreendemos, portanto, que tais práticas não ocorrem de maneira isolada, mas emergem das interações discursivas e sociais estabelecidas entre os estudantes durante o processo investigativo. A

construção do saber científico no ambiente escolar depende, assim, da capacidade dos sujeitos de organizar e validar coletivamente suas descobertas.

As práticas epistêmicas se manifestam quando os estudantes, ao lidarem com a difração da luz, propõem explicações e utilizam ferramentas de forma contextualizada para resolver os problemas apresentados. Ao refletirem sobre os desafios e buscarem soluções baseadas em evidências, os estudantes exercitam o papel de sujeitos ativos na produção de sentidos físicos. Para que isso ocorra, a mediação do professor deve valorizar a bagagem de vida e a autonomia dos estudantes, permitindo que as interações em sala de aula se aproximem do fazer científico real.

De acordo com Jiménez-Aleixandre e Erduran (2007), quando os estudantes argumentam sobre fenômenos físicos, como o comportamento das ondas, as trajetórias dos corpos ou as relações entre força e movimento, tornam-se autores de afirmações justificadas, em vez de simples reprodutores de definições. A argumentação configura-se, nesse sentido, como uma prática cognitiva e social, mediada pelo discurso e pela análise de evidências. O professor, ao assumir o papel de mediador epistêmico, cria oportunidades para que os estudantes expressem, comparem e reformulem suas ideias, sem eliminar a autonomia investigativa do grupo.

Essa perspectiva está alinhada ao que Duschl e Osborne (2002) defendem ao afirmar que o ensino de ciências deve priorizar a justificação e avaliação de evidências, em vez da simples aplicação de algoritmos e fórmulas. As atividades experimentais deixam de ser meras demonstrações confirmatórias e passam a ser espaços de argumentação, confronto de hipóteses e validação coletiva, aproximando o ambiente escolar da prática científica autêntica. Essa abordagem não apenas desenvolve a compreensão conceitual, mas também fortalece a capacidade dos estudantes de pensar e agir como cientistas.

As práticas epistêmicas articulam-se, segundo Kelly e Licona (2018), em quatro dimensões interdependentes, a saber, propor, comunicar, avaliar e legitimar, que estruturam a forma como o conhecimento científico é construído, compartilhado e validado nos ambientes de ensino. Essa concepção amplia o entendimento sobre a

natureza da prática científica ao destacar que o processo de aprendizagem envolve não apenas a produção de respostas corretas, mas a participação ativa em processos discursivos e colaborativos que mimetizam o funcionamento da própria ciência. Essa estrutura valoriza a autonomia do estudante, incentivando-o a transitar da observação passiva para a defesa argumentativa de seus próprios modelos explicativos sobre a difração da luz.

Tais dimensões funcionam também como um mapa para a mediação docente, permitindo que o professor identifique os momentos em que as elaborações discursivas dos estudantes se transformam em contribuições epistêmicas para o grupo. O ato de propor hipóteses ou avaliar evidências deixa de ser uma tarefa isolada para tornar-se um componente da cultura científica estabelecida em sala de aula, desde que o ambiente seja seguro e dialógico, e que a bagagem de vida do estudante seja o alicerce para a construção de novos sentidos físicos.

Quadro 1 – Práticas epistêmicas segundo Kelly e Licona (2018) com cada uma das dimensões e as ações esperadas dos estudantes em cada etapa

PRÁTICAS EPISTÊMICAS	AÇÕES ESPERADAS
Propor	1. Levantar questões científicas. 2. Realizar investigações científicas para responder a perguntas 3. Fazer observações e perceber o que é relevante com base em argumentos para uma investigação 4. Construir e aperfeiçoar modelos.
Comunicar	1. Desenvolver raciocínio científico. 2. Justificar suas ideias baseado no conhecimento 3. Escrever uma explicação científica. 4. Comunicar uma explicação científica verbalmente. 5. Construir uma explicação científica com base em provas e raciocínios.
Avaliar	1 Avaliar os méritos de uma afirmação científica, evidência ou modelo 2 Avaliar uma linha de raciocínio científico 3 Avaliar explicação científica 4 Considerar explicações alternativas
Legitimar	214 Construir em consenso com o grupo explicações cientificamente sólidas. 224 Valorizar a explicação que mais se aproxima da cientificamente aceita. 234 Reconhecer o conhecimento epistêmico relevante a comunidade

Fonte: Kelly e Licona (2018).

Embora Kelly e Licona (2018) ofereçam uma base conceitual robusta para compreender as dimensões sociais da construção do conhecimento, sua operacionalização para a análise de interações discursivas em aulas de ciências exige categorias de maior especificidade. Nesse sentido, recorremos ao referencial de Sasseron (2018), que distingue dois conjuntos de práticas: as práticas epistêmicas, voltadas à proposição, comunicação, avaliação e legitimação de ideias, e as práticas científicas, orientadas ao trabalho com evidências, ao teste de hipóteses e à construção de explicações. Esse referencial fornece indicadores analíticos diretamente aplicáveis às interações típicas da educação básica brasileira.

O Quadro 2, fundamentado no trabalho de Sasseron (2018), sintetiza essas categorias, que servirão como indicadores analíticos centrais para a identificação dos movimentos discursivos e investigativos dos estudantes neste produto educacional sobre difração da luz. Esses indicadores não são estáticos: manifestam-se de forma dinâmica conforme o grau de interação do grupo com as atividades propostas na SEI.

Quadro 2- Práticas epistêmicas e científicas segundo Sasseron (2018)

PRÁTICAS EPISTÊMICAS (PE)	**PRÁTICAS CIENTÍFICAS (PC)**
PE1 - Proposição de ideias PE2 - Comunicação de ideias PE3 - Avaliação de ideias PE4 - Legitimação de ideias	PC1 - Trabalho com novas informações PC2 - Levantamento e teste de hipóteses PC3 - Construção de explicações e elaborações de justificativas, limites e previsões das explicações

Fonte: Sasseron (2018).

A mediação do professor, ao utilizar esses indicadores como balizadores da prática, permite que as elaborações discursivas dos estudantes sejam registradas e interpretadas com rigor epistemológico. Essa sistematização confere validade à análise de resultados, transformando as falas dos estudantes em evidências do desenvolvimento do pensamento científico.

A partir da organização proposta por Sasseron (2018), detalhamos a seguir cada uma dessas práticas sob a ótica da mediação do professor e das ações esperadas dos estudantes:

Proposição de ideias (PE1): Esta prática ocorre no momento inicial da construção do conhecimento na atividade investigativa. Emerge quando o estudante, diante de um fenômeno desafiador como a difração, mobiliza seus conhecimentos prévios e intuições para formular uma explicação ainda não acabada. Caracteriza-se por uma tomada de risco intelectual: o sujeito lança uma ideia ao grupo, iniciando o processo de significação do fenômeno estudado.

Comunicação de ideias (PE2): Consiste na exteriorização e socialização do pensamento. Para que uma proposição (PE1) se torne objeto de debate, o estudante precisa traduzir seus processos cognitivos internos em representações públicas acessíveis aos seus pares e ao professor. Essa exteriorização pode ocorrer por meio da linguagem oral, da escrita, de desenhos ou de gestos, tornando o pensamento visível e passível de interpretação coletiva.

Avaliação de ideias (PE3): Trata-se da análise crítica das proposições apresentadas. Nesta prática, o grupo examina a validade, a coerência lógica e a sustentação empírica das ideias propostas. Esta fase envolve ações como concordar, refutar ou questionar premissas, configurando-se como um momento de conflito cognitivo essencial para aproximar as concepções dos estudantes do modelo científico aceito.

Legitimação de ideias (PE4): Representa a etapa de estabilização e consolidação do saber. Após o percurso de avaliação rigorosa, a explicação passa a ser reconhecida como um saber válido e consensual pelo grupo. O estudante deixa de tratar a explicação como mera hipótese e passa a adotá-la como afirmação fundamentada, frequentemente com a mediação do professor na institucionalização do conhecimento científico.

Trabalho com novas informações (PC1): Abrange tanto a coleta de dados experimentais quanto a mobilização de informações já sabidas pelos estudantes ou fornecidas pelo professor, desde que sejam novas no contexto do problema em investigação. Assim, um estudante que recorre a um conhecimento aprendido em outra aula para fundamentar sua hipótese está exercendo PC1 tanto quanto aquele que realiza uma medição no arranjo experimental.

Levantamento e teste de hipóteses (PC2): Representa a ação intencional e metodológica sobre o objeto de estudo. Não se trata apenas de formular abstrações, mas de delinear caminhos práticos para verificá-las. O estudante planeja e executa ações visando responder a questionamentos sobre as variáveis do sistema, estabelecendo a ponte necessária entre o pensamento teórico e a realidade física.

Construção de explicações e elaboração de justificativas, limites e previsões (PC3): Esta prática representa o nível mais elevado de abstração na investigação. O estudante sintetiza o percurso anterior para formular um argumento científico robusto, reconhecendo as condições de contorno da explicação e utilizando o modelo construído para realizar previsões sobre cenários inéditos.

Assim, ao proporcionar um ambiente que favoreça o desenvolvimento dessas práticas, a mediação do professor permite que as elaborações discursivas dos estudantes se consolidem em uma efetiva enculturação científica. O domínio dessas práticas é o que possibilita a construção de sentidos físicos profundos sobre o comportamento ondulatório da luz e orienta, nas páginas seguintes, a descrição das atividades da SEI e a identificação dos momentos em que cada prática tende a emergir.

2.3 O DESENVOLVIMENTO DE PRÁTICAS EPISTÊMICAS

Sob uma perspectiva epistemológica, Bachelard (1996) ressalta que o avanço do conhecimento científico ocorre por meio da superação de obstáculos epistemológicos, compreendidos como as resistências que as explicações intuitivas e cotidianas oferecem à construção de modelos científicos mais rigorosos. Ao reconhecermos o conhecimento prévio como ponto de partida, e não como obstáculo a ser eliminado, o ensino de Física passa a promover rupturas produtivas, nas quais a revisão das concepções iniciais se converte em instrumento de formação intelectual. Essa perspectiva possibilita que os estudantes transitem gradualmente de explanações

ancoradas no senso comum para construções conceituais mais refinadas, fundamentadas em evidências empíricas e teóricas.

Ao assumirmos a perspectiva bachelardiana de que o conhecimento científico se edifica sobre a retificação de ideias prévias, evidencia-se a centralidade da mediação docente na criação de ambientes de aprendizagem que valorizem esse processo de reelaboração. Nesse contexto, os estudantes, mobilizando suas vivências e repertórios interpretativos, são convidados a confrontar suas hipóteses iniciais com os fenômenos investigados, o que lhes confere protagonismo na reelaboração conceitual. Tal abordagem alinha-se à ênfase de Sasseron (2018) nas práticas científicas e epistêmicas ao propor que a construção do conhecimento em sala de aula ocorre por meio de interações argumentativas e do uso de evidências, colocando os sujeitos como agentes ativos na produção de sentidos sobre o mundo natural.

No cenário contemporâneo da educação científica, pesquisas têm reforçado a centralidade das práticas epistêmicas para o ensino de Física. Nessa direção, Studart (2021) demonstra que metodologias fundamentadas na investigação e na argumentação favorecem aprendizagens mais profundas e duradouras, uma vez que permitem aos estudantes apropriarem-se do conhecimento de maneira ativa e reflexiva. Ademais, tais práticas transformam a sala de aula em um espaço dialógico e colaborativo, no qual o erro, o debate e a revisão contínua das ideias assumem papel estruturante na construção do saber.

Ao articularmos os resultados apontados por Studart (2021) com as premissas do Ensino por Investigação, evidencia-se que a promoção de ambientes dialógicos não apenas potencializa a apropriação conceitual, mas também reposiciona os estudantes como sujeitos legítimos na produção de conhecimentos. Essa reposição valoriza suas experiências prévias e sua capacidade de argumentar com base em evidências, elementos essenciais para que as práticas epistêmicas se consolidem como eixo estruturante da ação pedagógica.

No que se refere à articulação entre teoria e prática, Leão e Kolcenti (2021) apontam que metodologias investigativas e experimentais favorecem a integração dessas

dimensões, promovendo o desenvolvimento do pensamento crítico e a compreensão dos fenômenos físicos cotidianos sob uma ótica científica. Os autores destacam que o ensino de Física, quando sustentado por atividades investigativas, amplia as oportunidades para o exercício de competências epistêmicas tais como observação, inferência, argumentação e validação de resultados. Dessa forma, o estudante passa a compreender a ciência como um empreendimento humano e coletivo, caracterizado pela busca constante por explicações e pela reavaliação das próprias certezas.

As contribuições de Leão e Kolcenti (2021) evidenciam que abordagens investigativas criam condições para que os estudantes mobilizem suas experiências cotidianas como ponto de partida para a construção de explicações cientificamente fundamentadas. Essa mobilização não apenas fortalece a autonomia intelectual dos sujeitos, como também os insere em práticas epistêmicas nas quais a validação de hipóteses e a argumentação coletiva assumem papel central, perspectiva que converge com a ênfase atribuída por Silva, Gerolin e Trivelato (2018) à autonomia do estudante como condição imprescindível para que práticas epistêmicas se efetivem no contexto do Ensino por Investigação.

Ao considerarmos a formação epistemológica dos estudantes, Driver, Leach, Millar e Scott (1996) defendem que o ensino deve possibilitar a compreensão não apenas dos produtos da ciência, mas também dos processos pelos quais o conhecimento é construído, reconhecendo seu caráter provisório, argumentativo e socialmente situado. As práticas epistêmicas assumem papel fundamental, uma vez que inserem os estudantes nos modos de pensar, agir e justificar características da produção científica. Ao proporem hipóteses, avaliarem evidências e legitimarem ideias no contexto das atividades investigativas, os estudantes vivenciam a epistemologia científica em ação (Kelly; Licona, 2018), passando a compreender o conhecimento como uma construção humana passível de revisão contínua.

No âmbito da educação científica contemporânea, autores como Hodson (2014) e Aikenhead (2006) defendem que a formação escolar deve ultrapassar o domínio estritamente conceitual, alcançando também as dimensões sociopolíticas e culturais que permeiam a produção e a aplicação do conhecimento. Essa perspectiva converge

com o que Sasseron (2015) denomina alfabetização científica: não se trata apenas de ensinar conceitos, mas de inserir os estudantes nas práticas sociais da ciência de modo que possam compreender e questionar suas implicações no mundo em que vivem. Para atingir esse propósito formativo, o Ensino por Investigação assume papel central, na medida em que mobiliza os estudantes em processos ativos de construção e validação de explicações. Ao incorporarmos práticas epistêmicas em sala de aula, tais como debates orientados, análise de controvérsias e investigação de fenômenos do cotidiano, o ensino de Física se configura como um espaço de reflexão crítica e de construção de sentidos que aproxima a ciência da realidade dos estudantes.

No que se refere à articulação entre o engajamento epistêmico e a formação integral dos estudantes, Rosa, Darroz e Minosso (2019) afirmam que a participação em práticas epistêmicas está intimamente ligada à compreensão ampla do fazer científico, uma vez que permite assimilar não apenas os conceitos e leis da Física, mas também a natureza da ciência e suas implicações sociais, éticas e ambientais. Os autores destacam que essa perspectiva se concretiza quando os estudantes são convidados a agir como investigadores, analisando problemas reais e reconhecendo a presença da Física em seu cotidiano. Dessa forma, o ensino fundamentado em práticas epistêmicas contribui para a formação de cidadãos autônomos e socialmente conscientes, capazes de participar ativamente de decisões baseadas em evidências e em valores éticos.

Em suma, as perspectivas teóricas discutidas evidenciam que a aprendizagem em Física alcança sua plenitude quando os estudantes são desafiados a agir, pensar e comunicar de maneira análoga à atividade científica. Fundamentamo-nos, portanto, nas premissas do Ensino por Investigação, enquanto abordagem promotora de interações dialógicas, bem como nas categorias de práticas epistêmicas e científicas para estruturar a intervenção pedagógica no campo da óptica física. Ao assumirmos essa articulação como eixo estruturante da proposta didática, reconhecemos que a mediação do professor se orienta pela criação de condições para que os estudantes mobilizem suas vivências e repertórios interpretativos na formulação de questões, na coleta e análise de evidências e na comunicação de conclusões, assegurando, conforme Silva, Gerolin e Trivelato (2018), espaços nos quais as práticas epistêmicas

possam se desenvolver de forma situada e significativa. Esses mesmos fundamentos teóricos fornecem os critérios metodológicos e os indicadores analíticos necessários para interpretar as interações discursivas dos estudantes, tema que será retomado na análise dos episódios de ensino.

3 SEQUÊNCIA DE ENSINO INVESTIGATIVA SOBRE DIFRAÇÃO DA LUZ: ATIVIDADES PARA O DESENVOLVIMENTO DE PRÁTICAS CIENTÍFICAS E EPISTÊMICAS NO ENSINO MÉDIO

Esta proposta tem como objetivo o ensino de conceitos de óptica relacionados à difração, bem como o oferecimento de oportunidades para o desenvolvimento de práticas científicas e epistêmicas, elementos essenciais para uma formação plena e voltada à cidadania crítica. Com esse propósito, a proposta foi estruturada no formato de uma Sequência de Ensino Investigativa (SEI), composta por atividades diversificadas com potencial para fomentar o desenvolvimento das práticas científicas e epistêmicas pretendidas.

Em alinhamento a esse objetivo, a SEI foi elaborada com seis atividades distintas, orientadas por práticas investigativas. Sua estrutura foi planejada não apenas para a construção do conhecimento conceitual, mas também para instigar uma reflexão crítica sobre a evolução do saber e o aprimoramento das teorias ao longo do tempo. Essa dimensão histórica e filosófica alinha-se à perspectiva de Driver et al. (1996), para quem o ensino de ciências deve contemplar não apenas os produtos do conhecimento, mas também os processos pelos quais ele é construído e revisado. Além disso, a sequência ressalta a importância de questionar modelos estabelecidos e de reconstruí-los por meio de métodos investigativos para o refinamento do conhecimento científico. Tal abordagem demonstra aos estudantes que eles também podem atuar como investigadores e que a ciência é uma construção coletiva, fruto da articulação de experiências, argumentos e evidências produzidos por diversos sujeitos ao longo do tempo, o que contribui para desmistificar a imagem do cientista como um indivíduo isolado em um laboratório. São as práticas de comunicação, avaliação e legitimação de ideias que tornam visível, no cotidiano da sala de aula, esse caráter coletivo e argumentativo da produção científica.

O Quadro 3 apresenta as atividades desenvolvidas, os objetivos pretendidos e as situações-problema que devem ser solucionadas pelos estudantes em cada etapa desta proposta didática. Os objetivos apresentados não apenas contemplam as expectativas de aprendizagem do estudante na dimensão conceitual, referente aos conceitos de óptica abordados, mas também orientam sobre quais práticas científicas

e epistêmicas pretendemos que sejam desenvolvidas em cada etapa do processo de ensino e aprendizagem. Importa destacar que os objetivos epistêmicos não se avaliam pela correção das respostas, mas pelo engajamento dos estudantes nas práticas de proposição, avaliação e legitimação de ideias ao longo das interações discursivas de cada atividade.

Quadro 3 - Resumo das atividades desenvolvidas na Sequência de Ensino Investigativa (SEI): Objetivos conceituais, epistêmicos e científicos, situação-problema e dinâmica da atividade.

MOMENTO DA SEI E Nº DE AULAS	**OBJETIVOS CONCEITUAIS E OBJETIVOS EPISTÊMICOS E CIENTÍFICOS**	**SITUAÇÃO-PROBLEMA**
Atividade 1 (50 min)	Objetivos conceituais: 1. Compreender o fenômeno de difração da luz. 2. Reconhecer a importância do ponto claro de Fresnel na difração de ondas. 3. Compreender o papel das aberturas ou obstáculos na formação de padrões de difração. 4. Compreender as propriedades do ponto claro de Fresnel em relação ao tamanho da abertura e à distância de observação. Objetivos epistêmicos: 1- Desenvolver habilidades de observação precisa e sistemática. 2- Desenvolver habilidades de registro e organização de dados experimentais. 3- Desenvolver habilidades de análise crítica dos resultados e identificação de padrões. 4- Promover o questionamento científico e a formulação de hipóteses para explicar os fenômenos observados. Objetivos científicos: 1- Investigar a influência do tamanho da abertura na formação do ponto claro de Fresnel. 2- Investigar a influência da distância de observação na formação do ponto claro de Fresnel. 3- Verificar a relação entre a distância de observação e as características do ponto claro de Fresnel.	Qual será a forma da sombra projetada por uma bolinha de gude quando uma lanterna ligada for direcionada a ela? Qual será a forma da sombra projetada por uma esfera de ponta de caneta quando um laser ligado for direcionado a ela?
Atividade 2 (100 min)	Objetivos conceituais: 1. Compreender os princípios fundamentais do comportamento ondulatório da luz. 2. Familiarizar-se com as teorias históricas que contribuíram para o desenvolvimento	Como podemos explicar o comportamento da luz ao atingir ou passar por obstáculos muito pequenos?

	da compreensão sobre a natureza ondulatória da luz. 3. Identificar os principais experimentos e descobertas que ajudaram a estabelecer o comportamento ondulatório da luz. 4. Compreender o papel da luz como uma onda eletromagnética e sua relação com outros fenômenos ondulatórios. Objetivos epistêmicos: 1 Desenvolver habilidades de leitura crítica de textos científicos históricos. 2 Analisar as evidências e argumentos apresentados no texto para sustentar a natureza ondulatória da luz. 3 Refletir sobre as mudanças de paradigma científico ao longo do tempo e como as teorias evoluem com novas evidências. 4 Promover o pensamento crítico e a capacidade de questionar as informações apresentadas no texto. Objetivos científicos: 1. Explorar a influência de cientistas históricos, como Thomas Young ou Augustin-Jean Fresnel, no estabelecimento do comportamento ondulatório da luz. 2. Compreender as limitações dos modelos ondulatórios da luz e sua relação com outros modelos, como o modelo corpuscular.	
Atividade 3 (100 min)	Objetivos conceituais: 1. Compreender o fenômeno de difração da luz e o conceito de ponto claro de Fresnel. 2. Familiarizar-se com as propriedades da difração da luz em aberturas e obstáculos. 3. Entender a relação entre o tamanho da abertura e a formação do ponto claro de Fresnel. 4. Compreender o efeito da distância de observação na visualização do ponto claro de Fresnel. Objetivos epistêmicos: 1. Desenvolver habilidades de exploração e interação com simulações computacionais. 2. Analisar e interpretar os resultados obtidos na simulação, identificando padrões e relações entre as variáveis. 3. Refletir sobre a importância da utilização de simulações computacionais como ferramentas para a investigação científica. 4. Promover a capacidade de fazer perguntas e formular hipóteses a partir	Como a figura projetada no anteparo se comporta se aumentarmos o diâmetro do orifício da máscara? Como a figura projetada no anteparo se comporta se aumentarmos ou diminuímos o comprimento de onda do laser? Como a figura projetada no anteparo se comporta se mudarmos o formato do orifício para diferentes formas?

	das observações realizadas na simulação. Objetivos científicos: 1- Investigar a influência do tamanho da abertura na formação do ponto claro de Fresnel, utilizando diferentes configurações na simulação. 2- Explorar a relação entre a distância de observação e a visibilidade do ponto claro de Fresnel na simulação.	
Atividade 4 (150 min)	Objetivos conceituais: 1. Compreender o fenômeno da difração da luz. 2. Reconhecer a relação entre a difração e a propagação de ondas. 3. Familiarizar-se com os princípios da óptica e sua aplicação na mensuração de objetos microscópicos. 4. Compreender o uso do fenômeno de difração para determinar dimensões de objetos Objetivos epistêmicos: 1. Desenvolver habilidades práticas de experimentação e manipulação de equipamentos ópticos. 2. Coletar dados experimentais com precisão e exatidão. 3. Analisar e interpretar os resultados obtidos na experimentação. 4. Desenvolver habilidades de registro e documentação das etapas experimentais Objetivos científicos: 1. Utilizar o fenômeno de difração da luz para estimar a espessura de um fio de cabelo. 2. Investigar a relação entre a largura da abertura utilizada e a difração observada. 3. Verificar a relação entre a distância de observação e a intensidade do padrão de difração. 4. Comparar os resultados experimentais com os valores conhecidos da espessura do fio de cabelo.	Como usar o fenômeno da difração para medir a espessura de um fio de cabelo?
Atividade 5 (100 min)	Objetivos conceituais: 1 Compreender o princípio do fenômeno de difração. 2 Reconhecer a relação entre a difração e a propagação de ondas. 3 Familiarizar-se com os conceitos de comprimento de onda e espectro eletromagnético. 4 Compreender a relação entre a geometria da rede de difração e a formação de padrões de difração.	Como usar o fenômeno de difração para medir o comprimento de onda da luz emitida por um laser utilizando o padrão de difração produzido ao incidir em um fio de cabelo?

	Objetivos epistêmicos: 1. Desenvolver habilidades práticas de experimentação e manipulação de equipamentos ópticos. 2. Coletar dados experimentais de maneira precisa e sistemática. 3. Analisar e interpretar os padrões de difração obtidos para determinar o comprimento de onda do laser. 4. Refletir sobre as fontes de erro experimentais e discutir maneiras de minimizá-las. Objetivos científicos: 1- Utilizar a rede de difração para medir o comprimento de onda de um laser. 2- Investigar a relação entre o espaçamento das fendas da rede de difração e o padrão de difração observado. 3- Verificar a influência da distância entre a rede de difração e a tela de observação nos padrões de difração. 4- Comparar os resultados experimentais com os valores conhecidos do comprimento de onda do laser utilizado.	
Atividade 6 (50 min)	Objetivos conceituais: 1- Demonstrar compreensão do fenômeno de difração da luz. 2- Explicar os princípios básicos da difração e sua relação com a propagação de ondas. 3- Descrever as características do ponto claro de Fresnel e sua formação em aberturas ou obstáculos. Objetivos epistêmicos: 1. Aplicar corretamente os conceitos e termos relacionados à difração da luz em suas respostas. 2. Expressar o raciocínio e o pensamento crítico ao discutir as propriedades e os efeitos da difração. 3. Justificar suas respostas e argumentar com base em evidências experimentais e teóricas apresentadas ao longo das atividades. 4. Demonstrar capacidade de síntese e organização das informações sobre difração da luz. Objetivos científicos: 1. Analisar criticamente a importância da difração da luz em diversas áreas da ciência e tecnologia. 2. Avaliar a validade e a precisão dos resultados obtidos nas atividades experimentais e simulações computacionais.	Examinar imagens com distintos padrões de difração provocados por aberturas de diferentes formatos e reconhecer qual tipo de abertura origina cada padrão observado.

	3. Identificar possíveis limitações das teorias e modelos utilizados para explicar a difração da luz. 4. Relacionar a difração da luz com aplicações práticas, como em tecnologias ópticas e instrumentos de medição.

Fonte: Autor (2026).

3.1 SEQUÊNCIA DE ENSINO INVESTIGATIVA SOBRE DIFRAÇÃO DA LUZ

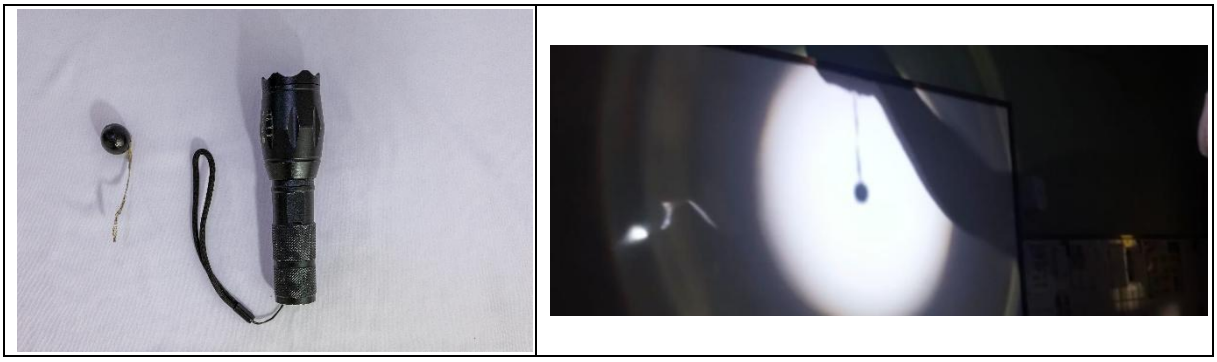
3.1.1 Atividade 1 - Explorando sombras: uma atividade investigativa

Iniciamos esta atividade com uma pergunta simples: o que acontece quando iluminamos uma bola com uma lanterna? A intenção não é testar se os estudantes sabem a resposta, eles provavelmente sabem. A intenção é criar um ponto de partida compartilhado, um momento em que todos olham para o mesmo fenômeno e percebem que têm algo a dizer sobre ele. Antes de acender a lanterna, vale ouvir as hipóteses da turma e registrá-las: elas serão o contraponto necessário para o que vem a seguir.

Ao realizar o experimento, a sombra circular aparece exatamente onde os estudantes esperavam (ver Figura 1). Nada de surpreendente ainda. Mas é justamente essa previsibilidade que torna a segunda etapa mais impactante: e se, em vez da lanterna e da bola, usássemos um laser e uma esfera minúscula, como aquelas esferas metálicas de cordões e pulseiras? O efeito seria o mesmo?

A maioria da turma tende a responder que sim. A lógica parece clara: menor a bola, menor a sombra, mas a sombra continua lá. Esse é o momento de incentivar os estudantes a justificarem sua resposta, não apenas a afirmá-la. Ao fazerem isso, eles já estão propondo ideias (PE1) e comunicando-as ao grupo (PE2), mesmo sem perceber que estão exercendo práticas científicas.

Figura 1 - À esquerda, o arranjo experimental entre a lanterna e a esfera; à direita, a realização do experimento evidenciando a propagação retilínea da luz e a projeção da sombra.

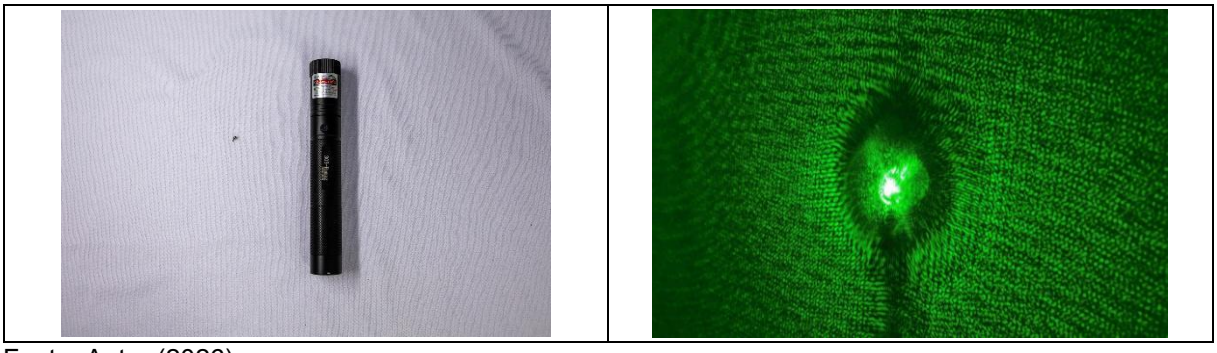


Fonte: Autor (2026).

Antes de revelar o resultado, uma orientação prática: esse experimento requer ajuste prévio do aparato e funciona melhor com a sala bem escurecida. Vale montá-lo antes da chegada dos estudantes e, por precaução, registrar fotograficamente o resultado em casa, imprevistos acontecem, e ter uma imagem de backup garante que a aula não perca seu ponto central.

Quando o laser atravessa a esfera e a sombra aparece na parede, algo inesperado surge no centro: um ponto luminoso (ver Figura 2). Os estudantes costumam reagir com estranhamento genuíno, alguns acham que é reflexo, outros que é falha no experimento. Esse desconforto é exatamente o que buscamos. É nele que reside o potencial investigativo da atividade.

Figura 2 - À esquerda, montagem experimental utilizando laser e uma microesfera metálica. À direita, projeção da imagem evidenciando a mancha de Fresnel (ponto de Poisson), refutando a previsão de uma sombra puramente geométrica.



Fonte: Autor (2026).

Vale aproveitar o momento para contar a história por trás desse ponto. No início do século XIX, o matemático Poisson usou esse fenômeno como argumento para tentar derrubar a teoria ondulatória da luz proposta por Fresnel: se a luz se comportasse como onda, haveria um ponto luminoso no centro da sombra de qualquer obstáculo circular, o que lhe parecia absurdo. Arago, então, realizou o experimento e confirmou o ponto. O argumento que pretendia refutar a teoria acabou por validá-la. Compartilhar esse episódio com a turma não é um desvio do conteúdo: é uma oportunidade concreta de mostrar que a ciência avança pelo confronto de ideias e evidências, e que o inesperado tem lugar legítimo no processo científico

NOME DA ESCOLA		
Professor (a): **NOME DO (A) PROFESSOR (A)**		
Turma:	Data: ___/___/_____	Turno:
Alunos:		

ATIVIDADE 1: EXPLORANDO SOMBRAS: UMA ATIVIDADE INVESTIGATIVA

Caro aluno, neste experimento temos à nossa disposição uma bolinha de gude, uma pequena lanterna, uma esfera metálica e um laser.

Questão 1 – Qual será a forma da sombra projetada por uma bolinha de gude quando uma lanterna ligada for direcionada a ela?

No espaço abaixo vocês devem formular uma hipótese inicial para a questão proposta, justificando com argumentos.

Após a observação da demonstração, o que vocês podem afirmar sobre a hipótese feita? Ela se confirmou? Caso não tenha sido confirmada, revise a hipótese e seu argumento no espaço abaixo.

Questão 2 – Qual será a forma da sombra projetada pela pequena esfera metálica quando um laser ligado for direcionado a ela?

No espaço abaixo vocês devem formular uma hipótese inicial para a questão proposta, justificando com argumentos.

Após a observação da demonstração, o que vocês podem afirmar sobre a hipótese feita? Ela se confirmou? Caso não tenha sido confirmada, revise a hipótese e seu argumento no espaço abaixo.

A partir daí, o professor conduz a discussão para as diferenças entre os dois experimentos: por que a sombra da bola era o que esperávamos, e a da esfera metálica não? O que esse ponto luminoso revela sobre o comportamento da luz? Ao avaliarem a discrepância entre o previsto e o observado (PE3) e tentarem construir uma explicação para o fenômeno (PC3), os estudantes dão os primeiros passos em direção ao conceito de difração, não porque o professor definiu, mas porque o experimento exigiu.

Esta atividade ocupa aproximadamente 50 minutos e inaugura o percurso investigativo da SEI. Os registros feitos pelos estudantes no roteiro desta aula devem ser guardados: ao final da sequência, eles serão retomados e poderão revelar, de forma bastante concreta, o quanto o pensamento da turma evoluiu ao longo do processo.

3.1.2 Atividade 2 – Texto investigativo sobre o comportamento ondulatório da luz

Esta atividade parte de um texto e essa escolha é intencional. A leitura, quando bem mediada, pode ser tão investigativa quanto um laboratório: ela coloca os estudantes diante de ideias que precisam ser interpretadas, questionadas e relacionadas com o que já sabem.

O texto entregue nesta aula percorre a história do estudo da óptica desde as primeiras intuições dos gregos até as contribuições de Fresnel. Não se trata de uma linha do tempo decorativa: o percurso histórico revela como o conhecimento científico se constrói por acumulação, mas também por ruptura, por disputas entre modelos e por

experimentos que obrigam a rever o que parecia consolidado. Para os estudantes que acabaram de se surpreender com o ponto de Arago (Fresnel) na aula anterior, esse texto chega num momento oportuno, ele oferece contexto para o estranhamento que ainda não foi completamente resolvido.

A leitura é feita individualmente, mas o trabalho não termina aí. Em pequenos grupos, os estudantes respondem a perguntas que não pedem a reprodução do texto, mas a elaboração de conexões: entre frente de onda e difração, entre os modelos históricos e os fenômenos já observados, entre o que a ciência dizia e o que os experimentos mostravam. Esse movimento de ir ao texto em busca de suporte para uma ideia própria é, em si, uma prática epistêmica: os estudantes trabalham com novas informações (PC1) para sustentar ou revisar as hipóteses que já carregavam.

O papel do professor nessa etapa é o de um mediador que resiste à tentação de resolver as perguntas antes que o grupo as enfrente. Intervir cedo demais encerra a discussão; intervir tarde demais permite que ela se perca. O ponto de equilíbrio está em fazer novas perguntas quando a conversa estagna, em pedir justificativas quando uma ideia é lançada sem sustentação, em aproximar grupos com respostas divergentes para que avaliem as diferenças entre si (PE3). A discussão coletiva que encerra a atividade é o momento em que as ideias elaboradas nos grupos ganham audiência mais ampla, e é aí que a comunicação (PE2) e a legitimação de ideias (PE4) tendem a emergir com mais clareza.

NOME DA ESCOLA		
Professor: **NOME DO (A) PROFESSOR (A)**		
Turma: _____	Data: ___/___/_____	Turno:
Alunos(as):		

ATIVIDADE 2: COMPORTAMENTO ONDULATÓRIO DA LUZ

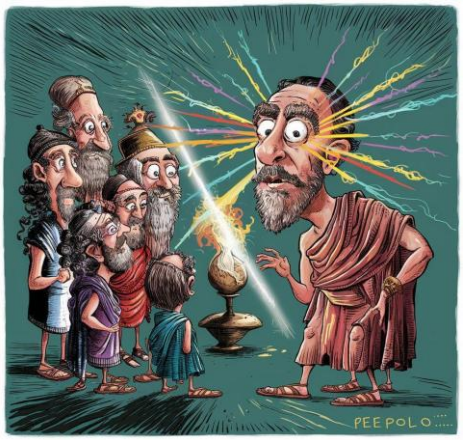
Os mistérios da natureza são o combustível para os físicos da atualidade e, também, para os filósofos da antiguidade, as perguntas sobre como e por que podemos ver os objetos levaram a estudarmos o olho humano e a luz até alcançarmos o conhecimento o qual possuímos atualmente. O texto a seguir busca trazer algumas ideias que levaram à evolução do conhecimento que possuímos sobre óptica.

UMA BREVE HISTÓRIA DA LUZ: ALGUMAS IDEIAS RELEVANTES NA EVOLUÇÃO DAS TEORIAS ÓPTICAS ATÉ FRESNEL (1819)

Ao longo da história o conhecimento científico vem evoluindo e as percepções referentes à natureza vão se adaptando e modificando de acordo com as evoluções da tecnologia, da ciência e da sociedade. Com a óptica isso não foi diferente, ao longo da história o estudo da luz passou por várias formulações teóricas. As primeiras teorias acerca da luz começaram com as ideias filosóficas dos gregos, ainda antes de Cristo, e avançaram até os dias atuais.

Entre os gregos antigos, existiam vários filósofos que buscavam entender o comportamento da luz e o que ela era, seus estudos focavam principalmente na tentativa de entender o que era a luz e qual o seu papel no processo da visão. Entre os gregos que estudaram a luz podemos citar os filósofos Aristóteles, Euclides, Heron, Platão e Ptolomeu.

Os gregos focaram principalmente em teorias para explicar a visão e no estudo de alguns conceitos da óptica geométrica como reflexão, refração e propagação retilínea da luz. Existiam duas teorias que receberam mais destaque na Grécia antiga, a teoria atomista que defendia que os objetos ao serem atingidos pela luz emitem finas camadas de átomos que chegavam até os olhos e esses átomos ativavam a visão, e a teoria do fogo solar e o fogo dos olhos onde a luz do sol e das chamas emitem luz e os olhos também emitem raios luminosos e o encontro destes dois ativaria o sentido da visão.

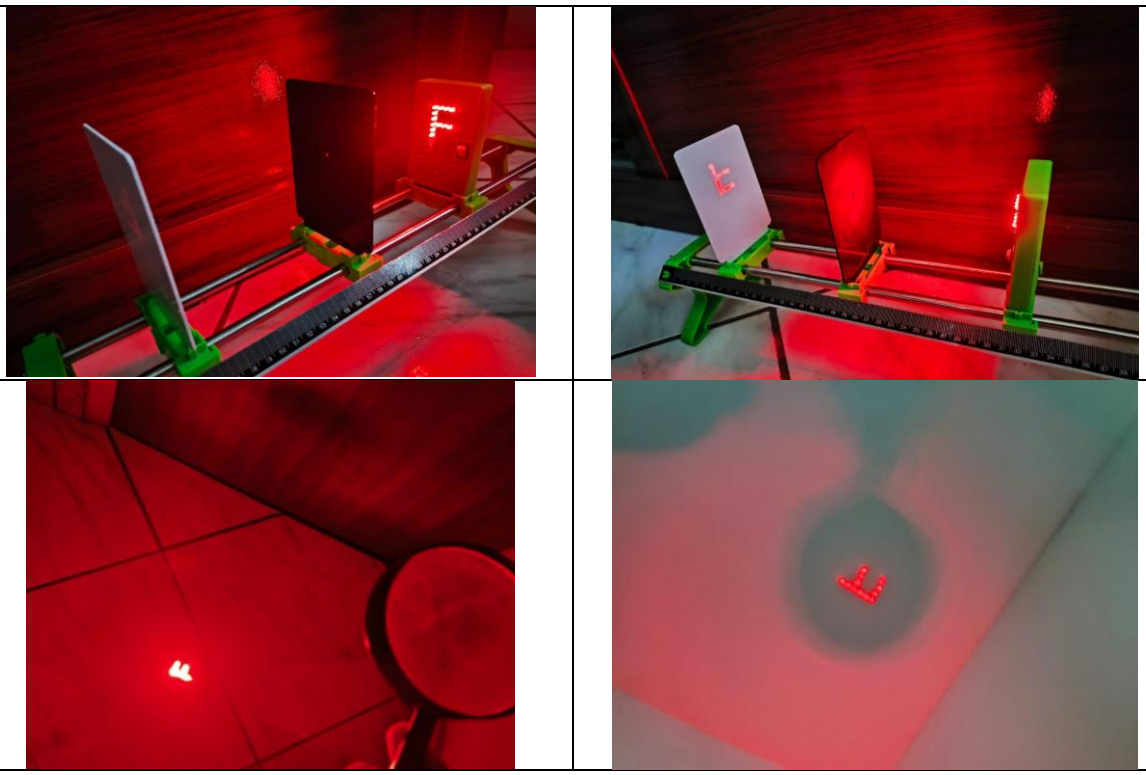


Fonte: ideogram

Com o material produzido pelos gregos, o estudo da luz também evoluiu com pesquisadores árabes e persas por volta do século X. Entre eles destacam-se nomes como Alhazen e Al-Kindi. Para Alhazen, o ar é transparente em si e a luz difusamente refletida é a causa direta da visão. Ele traz em seu livro estudos sobre o aumento aparente dos astros no horizonte, análise da duração do crepúsculo do Sol, reflexão em espelhos esféricos, rejeição da teoria grega de que o olho enviava raios ao objeto mirado e análises sobre a estrutura do olho. E, além disso, Alhazen defendia a ideia proposta por Aristóteles de que a cor era uma propriedade intrínseca dos corpos transmitida ao olho através do meio transparente (Darrigol, 2012).

Giovanni Battista della Porta (século XVI), um nobre de Nápoles, fez comparações entre o olho humano e uma câmera escura em sua obra “Magia Naturalis”, publicada em 1558 e depois em 1589. Ele defendia a ideia de que o humor vítreo era a parte sensível do olho, porém não conseguiu relacionar o cristalino com a lente da sua câmera escura. Contudo, ele reconheceu que as lentes podiam formar uma imagem nítida de um objeto em um papel. Ademais, Porta também explicou como aprimorar a imagem projetada pela câmera escura ao inserir uma lente de vidro na sua abertura.

Figura 3 – Aparato experimento



Em 1611, na cidade de Nápoles, o religioso beneditino Francesco Maurolico fez uma analogia entre o humor cristalino do olho humano e uma lente bi-convexa. Ele chegou à conclusão de que distúrbios visuais como miopia e hipermetropia são causadas por uma convergência demasiado acentuada ou insuficiente desta “lente”, e que tais condições poderiam ser corrigidas com o uso de óculos.

Kepler, em 1604, fez uma descoberta fascinante: ele percebeu que o olho humano opera como uma sofisticada máquina óptica, formando imagens nítidas e detalhadas(pictura) de objetos distantes diretamente na retina.

As descobertas científicas no campo da óptica, desde os gregos até Kepler, foram direcionadas à compreensão da luz e da visão. Inicialmente, a óptica era vista como uma teoria da visão, onde a luz apenas facilitava a transferência de imagens para o olho, sem implicar um trajeto luminoso do objeto ao olho. Diferentes filósofos tinham teorias variadas sobre como isso ocorria. No segundo milênio, Alhazen colocou a luz como elemento central da óptica, mas ainda mantinha conceitos antigos, como os raios visuais emitidos pelos olhos, defendidos pelos gregos. Contudo, foi Kepler quem revolucionou essa compreensão ao descartar essas ideias gregas, considerando o olho como um instrumento óptico que formava imagens na retina. Ele defendeu a ideia da intersecção dos raios luminosos e sua importância para medir distâncias. Além disso, Kepler explicou como instrumentos poderiam corrigir ou aprimorar a visão, afastando-se das ideias gregas e aplicando métodos mais apropriados para o entendimento da óptica.

Descartes explicou o fenômeno da refração utilizando a analogia de uma bola que altera sua trajetória ao transitar do ar para a água, mudando também sua velocidade. No entanto, ele presumiu que a luz, por possuir uma velocidade infinita, não sofreria essa alteração de velocidade.

Em contraste com Kepler, Descartes (1637) concebeu a ideia de imagens virtuais, formadas pelo encontro dos prolongamentos dos raios de luz desviados por um instrumento óptico e que emanam de um mesmo ponto do objeto observado. Essa concepção pode ser verificada nas ilustrações que ele criou para demonstrar os efeitos de prismas, lentes e espelhos na visão. No entanto, ele não desenvolveu essa teoria mais a fundo, deixando um vasto campo para futuras explorações e avanços na compreensão dos fenômenos ópticos.

A teoria de Grimaldi (1665) sobre a luz possivelmente surgiu após ele identificar um fenômeno óptico inédito, que ele denominou “difractio” (que mais tarde daria origem à palavra "difração"). Em uma série de experimentos meticulosos, Grimaldi examinou a sombra formada em

uma tela distante por um objeto fino iluminado pelo sol, que atravessava um pequeno orifício em uma persiana. Ele notou que a semi-sombra era mais extensa do que o esperado com base no tamanho da abertura e apresentava bordas coloridas ao redor da sombra geométrica. Concluiu com precisão que esse efeito era resultado de um modo de propagação da luz até então desconhecido, que não se encaixava nos conceitos de reflexão (pelas arestas do objeto), refração (através de meios heterogêneos) ou dispersão (pelo ar).

A obra "De Anima" de Aristóteles foi fundamental para a teoria de Ango/Pardies (1682) sobre som e luz, que enfatizava o papel do meio na propagação desses fenômenos. Eles se basearam nesse texto para fundamentar suas hipóteses, incluindo a ideia de que o ar é a fonte de propagação, além de compararem o comportamento do som e da luz com ondas aquáticas. Ango/Pardies utilizaram o termo aristotélico "éter" para se referir ao meio óptico, uma prática pouco comum na época. Acreditavam que, até atingir a atmosfera, a luz se propagava quase instantaneamente, mas ao adentrar a atmosfera, sua velocidade diminuía.

Huygens chegou à conclusão de que a luz se propaga de uma maneira distinta, e que o conhecimento sobre a propagação do som no ar pode nos ajudar a entender isso. Ele concordou com Pardies que som e luz não se propagam da mesma maneira, já que os experimentos no vácuo de Torricelli e Boyle demonstraram que o som precisa do ar para se propagar, enquanto a luz não. Assim como Pardies (e Aristóteles), Huygens referiu-se ao meio da luz como éter, reconhecendo a diferença fundamental entre a propagação do som e da luz.

Hooke, em 1665, teorizou que o som era a sucessão de pulsos produzidos pelo batimento periódico do ar, como ele demonstrou mais tarde utilizando uma roda dentada giratória. Seu conceito de luz era uma versão mais rápida desse mesmo processo. Ele considerou uma velocidade finita de propagação em sua teoria das cores, e presumiu a periodicidade do movimento etéreo. Hooke utilizou essa propriedade para explicar as cores observadas em placas finas. Embora claramente influenciado pela analogia com o som, preferiu ser discreto e apresentar suas teorias ópticas como baseadas em observações e mecanismos racionais.

Hooke acreditava que a luz tinha natureza ondulatória. Ele propôs que a luz fosse uma forma de onda propagando-se através de um meio contínuo, que ele chamou de "éter". Essa visão contrastava com a teoria corpuscular da luz, defendida por Isaac Newton, que sugeria que a luz era composta de partículas. A concepção de Hooke estava mais alinhada com a teoria ondulatória posteriormente desenvolvida por Christiaan Huygens.

Thomas Young fez contribuições fundamentais para a óptica no início do século XIX, sendo uma figura central na defesa da teoria ondulatória da luz. Sua descoberta mais significativa foi o princípio da interferência, que ele introduziu para explicar uma série de fenômenos ópticos, incluindo as cores de placas finas e os padrões de interferência observados em superfícies estriadas. Young demonstrou que, quando duas ondas de luz provenientes da mesma fonte seguem caminhos diferentes e depois se encontram, elas podem interferir construtivamente, se reforçando, ou destrutivamente, se atenuando, dependendo da diferença de fase entre elas. Essa interferência resulta em padrões de intensidade luminosa variável, fenômeno que ele comparou aos batimentos acústicos, onde sons de frequências ligeiramente diferentes produzem variações perceptíveis na intensidade do som.

Além do princípio de interferência, Young fez avanços significativos na compreensão da dispersão da luz. Ele propôs que a velocidade das ondas de luz seria afetada pela tendência vibratória das partículas do meio pelo qual passam, antecipando teorias modernas de dispersão que seriam desenvolvidas décadas mais tarde. Apesar de seu estilo de escrita conciso e de sua abordagem experimental cuidadosa, Young recebia muitas críticas, e suas ideias enfrentavam resistência por não serem apresentadas com o rigor matemático que seus contemporâneos exigiam.

Fresnel foi uma figura central na transição da teoria corpuscular para a teoria ondulatória da luz. Sua abordagem inovadora e os resultados experimentais precisos desempenharam um papel crucial na aceitação da teoria ondulatória na comunidade científica.

Inicialmente, Fresnel focou seus estudos na difração da luz, utilizando experimentos para confirmar sua inclinação para a teoria ondulatória, em contraste com a teoria corpuscular dominante na época. Embora suas descobertas iniciais tenham corroborado os resultados de Thomas Young, Fresnel dedicou-se a uma análise matemática detalhada que o levou a formular o princípio de Huygens-Fresnel, essencial para calcular a amplitude da luz difratada.

Fresnel expandiu seus estudos para a polarização da luz, um fenômeno que ele inicialmente ignorou. Ele desenvolveu uma teoria da polarização cromática que contradiz resultados anteriores de Biot(1816), que afirma que a polarização da luz ocorria devido à reflexão ou à refração

e que as diferentes cores da luz polarizada estavam associadas a diferentes tipos de vibração. Fresnel demonstrou que a luz polarizada poderia ser explicada por ondas transversais, um conceito considerado mecanicamente impossível na época. Ele propôs que o éter, o meio através do qual a luz se propagava, possuía uma resposta elástica que permitia ondas transversais.

A sofisticação matemática das teorias de Fresnel eventualmente convenceu muitos adversários da teoria ondulatória. A comunidade científica começou a aceitar que a teoria corpuscular não conseguia explicar a vasta gama de fenômenos que a teoria de Fresnel abrange de maneira quantitativa e unificada.

Os resultados de Fresnel, baseados em experimentos e princípios matemáticos, como a interferência e o caráter senoidal das vibrações associadas a cores simples, foram amplamente aceitos na década seguinte à sua morte. Embora seu modelo do éter não tenha tido o mesmo sucesso duradouro, as leis matemáticas que ele derivou para a propagação da luz polarizada foram fundamentais para a ótica.

Fresnel desempenhou um papel fundamental na validação e aceitação da teoria ondulatória da luz. Seus métodos rigorosos e resultados precisos destacaram-se como provas decisivas contra a teoria corpuscular, solidificando a teoria ondulatória na física do século XIX.

Referências:

DARRIGOL, Olivier. **A history of optics from Greek antiquity to the nineteenth century**. OUP Oxford, 2012.

Esta atividade também abre uma conversa mais ampla, difícil de provocar em aulas expositivas: a de que o desenvolvimento científico depende da comunicação. Os estudantes que leram sobre as disputas entre Newton e Huygens, ou sobre como Fresnel precisou convencer uma comunidade científica cética, começam a perceber que a ciência não avança por iluminação individual, avança porque ideias são tornadas públicas, submetidas ao escrutínio coletivo e revalidadas ou descartadas com base em evidências. Essa percepção, quando genuína, é mais formativa do que qualquer definição de difração.

NOME DA ESCOLA		
Professor: **NOME DO (A) PROFESSOR (A)**		
Turma: _____	Data: ___/___/_____	Turno:
Alunos(as):		

ATIVIDADE 2: COMPORTAMENTO ONDULATÓRIO DA LUZ

QUESTÕES DA LEITURA DE TEXTO

1. Qual a importância de questionar e testar teorias científicas antigas com novas tecnologias e métodos?

Possível discussão: A necessidade de revisitar e testar teorias para validar ou refutar ideias antigas, levando a avanços científicos como os feitos por Kepler e Fresnel.

2. De que maneira as teorias ópticas desenvolvidas por diferentes culturas e cientistas ao longo da história influenciaram o progresso científico?

Possível discussão: A troca de conhecimento entre culturas e a construção cumulativa do conhecimento científico, destacando contribuições de gregos, árabes e europeus.

3. Por que é importante para a ciência ter debates e, às vezes, discordâncias entre cientistas sobre teorias como a da luz?

Possível discussão: O papel das controvérsias científicas no avanço do conhecimento, levando a novas investigações e descobertas mais precisas.
Discussão sobre Aplicações Modernas

4. Como os conceitos de óptica desenvolvidos ao longo da história são aplicados nas tecnologias modernas que usamos hoje?

Possível discussão: Aplicações práticas em lentes, microscópios, telescópios, e tecnologias como lasers e fibras ópticas.

5. Que impacto você acha que a compreensão da natureza da luz teve no desenvolvimento de outras áreas da ciência e tecnologia?

Possível discussão: A interconexão entre a óptica e outras disciplinas, como física quântica, engenharia, medicina, e comunicação

6. Como a evolução das teorias sobre a luz reflete a natureza progressiva do conhecimento científico?

Possível discussão: A visão da ciência como um processo de construção contínua, onde cada descoberta se baseia em trabalhos anteriores e abre caminho para novas perguntas.

7. O que a história do estudo da luz nos ensina sobre a natureza da investigação científica e o papel da observação e experimentação?

Possível discussão: A importância da curiosidade, da observação detalhada, e do pensamento crítico na ciência, exemplificados pelos trabalhos de cientistas como Alhazen, Hooke e Huygens.

A atividade foi planejada para 100 minutos. Os registros produzidos pelos grupos nesta aula devem ser guardados junto com os da atividade anterior: eles compõem, juntos, o retrato inicial do pensamento da turma sobre o tema.

3.1.3 Atividade 3 - Simulação computacional do comportamento ondulatório da luz

Depois de observar a difração em um experimento real e de compreender seu contexto histórico pela leitura, os estudantes chegam a esta aula com um fenômeno

parcialmente familiar, mas ainda sem clareza sobre o que determina a forma e o espaçamento do padrão que a luz produz ao passar por uma abertura. É exatamente essa lacuna que a simulação vem explorar.

O simulador utilizado é o “interferência de onda”, disponível gratuitamente no PhET Colorado, em versão traduzida para o português: https://phet.colorado.edu/sims/html/wave-interference/latest/wave-interference_all.html?locale=pt_BR

Vale abri-lo com a turma antes de qualquer instrução escrita, projetando-o e navegando por ele brevemente, não para explicar tudo que ele faz, mas para que os estudantes se familiarizem com os controles antes de precisar usá-los sozinhos. Essa apresentação inicial evita que a interface consuma o tempo que deveria ser dedicado à investigação.

O roteiro da atividade é estruturado em três etapas para cada questão: propor uma hipótese, testar no simulador e comparar o resultado obtido com o que foi antecipado. Essa sequência não é burocracia, ela é o coração da atividade. O risco mais comum nesse tipo de tarefa é o estudante ler a pergunta, manipular imediatamente o simulador e só então escrever a “hipótese” com base no que já viu. Quando isso acontece, a proposição deixa de ser uma aposta intelectual e vira uma descrição retrospectiva. Vale reforçar esse ponto com a turma antes de começar: a hipótese precisa ser escrita antes de qualquer manipulação. Não porque seja uma exigência formal, mas porque é justamente nesse momento, quando o estudante precisa antecipar um resultado sem saber ao certo, que o pensamento científico se exercita de verdade.

Os estudantes trabalham em pequenos grupos, o que cria condições para que as hipóteses sejam discutidas antes de serem registradas. Um grupo que diverge internamente sobre o que vai acontecer quando se estreita a abertura está, sem perceber, avaliando ideias (PE3) e levantando hipóteses concorrentes (PC2), exatamente o tipo de interação que queremos provocar. O professor circula entre os grupos não para confirmar respostas, mas para fazer perguntas que aprofundem o

raciocínio: *por que você acha que o padrão vai mudar dessa forma? O que aconteceu foi o que você esperava? O que esse resultado diz sobre a relação entre o tamanho da abertura e a difração?*

NOME DA ESCOLA		
Professor: **NOME DO (A) PROFESSOR (A)**		
Turma: _____	Data: ___/___/_____	Turno:
Alunos(as):		

ATIVIDADE 3 - SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

Caro estudante, nesta atividade vamos usar a simulação "INTERFERÊNCIA DE ONDA" como auxiliar para entender a difração, a partir dela vamos visualizar o que ocorre ao se passar um feixe de luz por pequenos orifícios. Siga as instruções e discuta com seus colegas e professor para resolver os questionamentos propostos.

1. Observe a parte inferior do quadro, que representa o orifício da máscara, onde podemos ver botões que aumentam e diminuem o diâmetro do orifício.

   a) Selecione o diâmetro de 0,04 mm, aperte o botão vermelho no canto superior direito para ligar o laser e observe atentamente a figura projetada no anteparo. Crie hipóteses sobre como a figura se comporta se aumentarmos o diâmetro do orifício da máscara. (Se achar necessário, faça desenhos e esquemas para explicar.)

   b) Agora, aumente o diâmetro do orifício da máscara e observe o que ocorre. Após a observação da simulação, o que vocês podem afirmar sobre a hipótese formulada? Ela se confirmou? Caso não tenha sido confirmada, revise a hipótese e o argumento no espaço abaixo.

2. No canto superior direito podemos observar um botão que permite mudar o comprimento de onda do laser(cor)

   a) Crie hipóteses sobre como a figura se comporta se aumentarmos ou diminuímos o comprimento de onda do laser. (Se achar necessário, faça desenhos e esquemas para explicar.)

   b) Agora, aumente e diminua o comprimento de onda do laser e observe o que ocorre. Após a observação da simulação, o que vocês podem afirmar sobre a hipótese formulada? Ela

se confirmou? Caso não tenha sido confirmada, revise a hipótese e o argumento no espaço abaixo.

3. Na lateral da máscara existem botões que permitem mudar a forma do orifício.
   a) Crie hipóteses sobre como a figura se comporta se mudarmos o formato do orifício para diferentes formas. (Se achar necessário, faça desenhos e esquemas para explicar.)

   b) Agora, mude para as diferentes formas e observe o que ocorre. Após a observação da simulação, o que vocês podem afirmar sobre a hipótese formulada? Ela se confirmou? Caso não tenha sido confirmada, revise a hipótese e o argumento no espaço abaixo.

4. Ao estarmos com a máscara com orifício quadrado, observe a parte onde podemos ver botões que aumentam e diminuem os lados do orifício da máscara, ele está configurado para que os lados sejam iguais, que significa que o formato do orifício é um quadrado, se diminuirmos um lado até o mínimo o formato do orifício ficará estreito simulando uma fenda.
   a) Crie hipóteses sobre como a figura se comporta se diminuirmos um dos lados. (Se achar necessário, faça desenhos e esquemas para explicar.)

   b) Agora, diminua um lado até o mínimo e observe o que ocorre. Após a observação da simulação, o que vocês podem afirmar sobre a hipótese formulada? Ela se confirmou? Caso não tenha sido confirmada, revise a hipótese e o argumento no espaço abaixo.

   c) Crie hipóteses sobre o que ocorre com a figura projetada se invertermos a fenda, ou seja, trocar o lado que está estreito. (Se achar necessário, faça desenhos e esquemas para explicar.)

d) Agora, troque os lados colocando o que estava no mínimo no máximo e o que estava no máximo no mínimo e observe o que ocorre. Após a observação da simulação, o que vocês podem afirmar sobre a hipótese formulada? Ela se confirmou? Caso não tenha sido confirmada, revise a hipótese e o argumento no espaço abaixo.

O objetivo central desta aula é que os estudantes construam, a partir da própria manipulação do simulador, uma compreensão sobre a relação entre o formato e o tamanho do orifício e as características do padrão de difração resultante. Essa compreensão não precisa chegar formulada em linguagem técnica, basta que emerja das comparações que os grupos fazem entre suas hipóteses e os resultados observados.

Se o roteiro for concluído antes do fim dos 100 minutos, incentive os estudantes a explorar livremente o simulador. Variar a frequência, mudar de uma fenda para duas, observar o que muda no padrão, essa exploração espontânea costuma gerar perguntas que nenhum roteiro antecipou, e perguntas genuínas são sempre um bom sinal.

4.1.1 Atividade 4 - Laboratório aberto: Mensurando a espessura do fio de cabelo

Há algo de especial em medir o que não se consegue ver a olho nu. Esta atividade propõe exatamente isso: usar a difração produzida por um laser ao contornar um fio de cabelo para determinar sua espessura, um objeto tão cotidiano e tão impossível de medir com uma régua (ver Figura 3). Quando os estudantes percebem que o fenômeno que estudaram nas aulas anteriores pode ser usado como instrumento de medição, a difração deixa de ser um conceito abstrato e se torna uma ferramenta real.

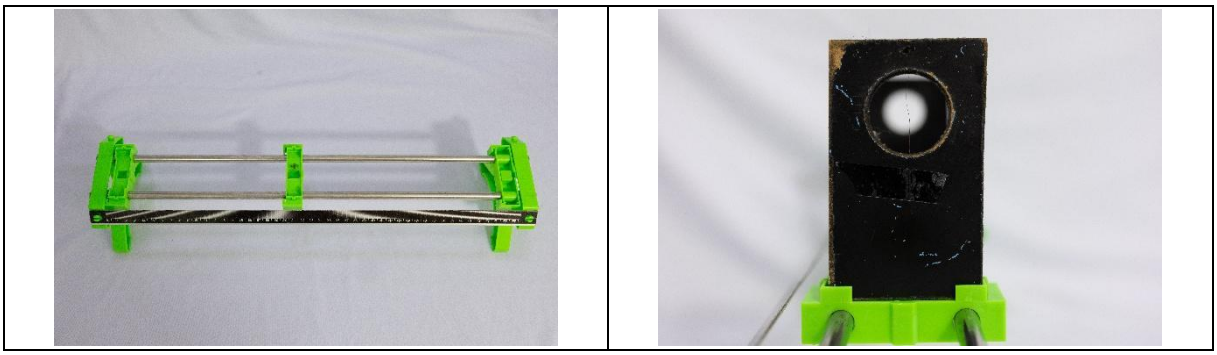
O material necessário é simples e de baixo custo: um laser, uma trena, uma régua, fita adesiva, suportes para fixar o laser e o fio de cabelo, este último fornecido pelos

próprios estudantes. Essa pequena exigência não é acidental: pedir que cada um traga um fio do próprio cabelo já cria uma curiosidade legítima antes mesmo de a aula começar. Afinal, será que fios de espessuras diferentes produzem padrões diferentes?

Antes de liberar os grupos para a montagem, vale uma orientação direta sobre o uso do laser: a intensidade luminosa, se direcionada aos olhos, pode causar desconforto. Não é necessário dramatizar o aviso, mas ele precisa ser feito com clareza e retomado sempre que necessário durante a aula. A segurança no laboratório é, em si, uma prática científica.

O roteiro traz as orientações de montagem e coleta de dados, mas isso não significa que o professor deva se afastar. Circular entre os grupos é parte essencial desta aula, não para verificar se estão seguindo o roteiro corretamente, mas para perceber onde o raciocínio trava, onde a montagem não está produzindo o padrão esperado e onde uma pergunta bem colocada pode fazer mais do que qualquer explicação. Grupos que chegam a resultados muito diferentes entre si são uma oportunidade, não um problema.

Figura 3 - Detalhes da montagem experimental: à esquerda, a base de suporte (trilho) para os componentes; à direita, o dispositivo de fixação do obstáculo (fio de cabelo) para a incidência do laser.



Fonte: Autor (2026).

Após a coleta, cada grupo compartilha seus dados com a turma. É nesse momento que a atividade ganha sua dimensão mais rica: com os dados de todos reunidos, constrói-se um gráfico cujo coeficiente angular da reta fornece uma estimativa da espessura do fio mais precisa do que qualquer medida isolada. Vale explicar aos

estudantes por que isso funciona, a ideia de que múltiplas medidas, quando combinadas, reduzem o efeito dos erros individuais é um dos princípios mais fundamentais da prática experimental e raramente recebe a atenção que merece no Ensino Médio.

NOME DA ESCOLA		
Professor (a): **NOME DO (A) PROFESSOR (A)**		
Turma:	Data:___/___/_____	Turno:
Alunos:		

ATIVIDADE 4 – LABORATÓRIO ABERTO

Mensurando a espessura do fio de cabelo

Caro estudante, nesta atividade vamos usar o fenômeno de difração para mensurarmos a espessura de um fio de cabelo. Siga as instruções e discuta com seus colegas e professor para resolver os questionamentos propostos.

Laboratório aberto

1. Montagem do Experimento:

Caro estudante, a sua frente tem um conjunto de equipamentos contendo um base de suporte, um suporte para fio de cabelo, um laser, um anteparo, uma trena e uma régua.

Esse arranjo experimental pode ser montado da seguinte maneira

- Monte o laser no suporte e alinhe-o de modo que o feixe de luz seja perpendicular ao anteparo.
- Coloque o suporte para o fio de cabelo no caminho do feixe de laser, de modo que o fio esteja bem-posicionado perpendicularmente ao feixe de luz.
- Posicione o anteparo a uma distância fixa (por exemplo, 1 metro) do fio de cabelo.

Investigando o padrão de difração:

Ligue o laser e ajuste a posição do fio de cabelo para que ele interrompa o feixe de luz, criando um padrão de difração visível no anteparo. Observe o padrão de difração criado no anteparo. Deve-se observar uma série de franjas brilhantes e escuras.

Arraste o fio de cabelo para frente e para trás e descreva abaixo o que você observou sobre os pontos iluminados no anteparo. Aconteceu o que você esperava? Se não, comente.

2. Coleta de Dados:

1. **Medindo a distância (D) e a separação entre os pontos de luz (Δy):**
    - Meça e registre a distância exata (D) entre o fio de cabelo e o anteparo usando a trena.
    - Meça e registre a separação**(Δy**) entre os pontos de luz (Distância entre o centro de duas franjas consecutivas) no anteparo usando uma régua.

(*) Faça o procedimento acima duas vezes alterando a distância (D) e anote no quadro abaixo

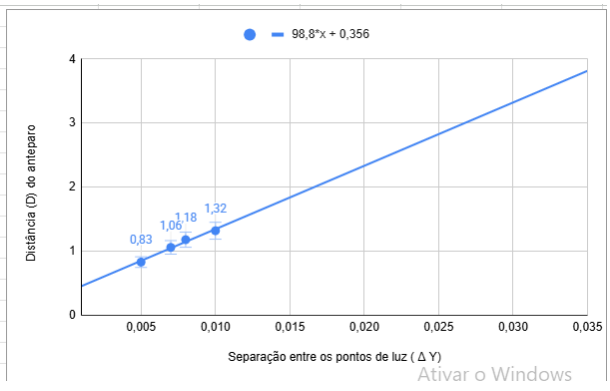
distância (D) ao anteparo	Separação entre os pontos de luz (Δy):

3. Compartilhamento dos valores de distância (D) e a separação entre os pontos de luz (Δy) com os colegas

Grupo	Distância (D) ao anteparo	Separação entre os pontos de luz (Δy):
1		
2		
3		
4		

Usar Google Sheets para traçar o gráfico e calcular o coeficiente angular da reta.

Grupo	Distância (D) do anteparo	Medida da franja de luz (Δ Y)
	0,83	0,005
1	1,18	0,008
	1,32	0,01
2	1,06	0,007
3		
4		
	98,84615385	



Ativar o Windows

Coloque aqui o valor encontrado:

Para chegar a esse resultado utilizamos duas grandezas físicas do problema aberto, quais sejam, distância ao anteparo e separação entre as franjas de luz. No espaço abaixo crie hipóteses sobre quais outras grandezas físicas podem ser levadas em consideração no problema proposto.

Agora, discuta com o professor e com os colegas quais outras grandezas físicas podem ser levadas em consideração no problema proposto e compare com as suas hipóteses. As suas hipóteses se confirmaram? Se não, explique o porquê e escreva abaixo quais são essas grandezas.

Agora, sabendo que o comprimento de onda do laser é um valor constante e fornecido pelo fabricante e é de aproximadamente 532nm formule uma hipótese sobre a relação matemática entre o comprimento de onda, a espessura do fio de cabelo e coeficiente angular do gráfico D versus Δy. Escreva abaixo a hipótese da fórmula matemática.

Agora, usando o valor numérico obtido por meio do google sheets e o valor fornecido pelo fabricante do laser calcule o valor da espessura do fio de cabelo

Dicas para os estudantes:

- Certifique-se de que o fio de cabelo esteja bem esticado e posicionado perpendicularmente ao feixe de laser.
- Meça a distância entre o centro das franjas consecutivas com precisão, utilizando a régua ou a trena.
- Realize múltiplas medições de Δy e calcule a média para obter um resultado mais preciso.

Segurança:

- Nunca olhe diretamente para o feixe de laser.

Ao observar o gráfico construído coletivamente, é provável que alguns pontos se distanciem significativamente da reta. Não os descarte silenciosamente: use-os para gerar uma nova discussão. Perguntar ao grupo o que pode ter ocorrido naquela medição, um fio mal fixado, uma distância mal aferida, uma leitura imprecisa do padrão, é uma oportunidade concreta para discutir incerteza experimental, a importância de repetir medidas e os critérios que a ciência usa para lidar com dados que fogem ao padrão. Se for necessário remover algum ponto para obter um resultado mais confiável, que essa decisão seja tomada e justificada publicamente, com a turma; não como um ajuste técnico feito pelo professor, mas como um movimento epistêmico coletivo de avaliação de evidências (PE3) e construção de uma explicação mais robusta (PC3).

Esta é, entre todas as atividades da SEI, a que mais aproxima os estudantes do fazer científico em sua dimensão material e coletiva: eles montam, medem, erram, ajustam, compartilham dados e constroem juntos um resultado que nenhum grupo alcançaria sozinho.

3.1.4 Atividade 5 - Prática experimental: Medida do comprimento de onda do laser

Há uma inversão elegante entre esta atividade e a anterior. Na Atividade 4, os estudantes conheciam o comprimento de onda do laser e usaram a difração para medir o fio de cabelo. Aqui, o fio de cabelo já foi medido e agora ele se torna o instrumento. O que se quer determinar, desta vez, é o comprimento de onda da própria luz. Vale destacar essa inversão com a turma antes de começar: ela não é um detalhe técnico, é uma demonstração concreta de como a ciência usa o que já conhece para descobrir o que ainda não sabe.

A montagem segue a mesma lógica experimental da aula anterior, com os mesmos elementos já conhecidos: laser, suporte, fio, anteparo e trena (ver Figura 4). O olhar dos estudantes sobre ela, porém, já é diferente. Eles já viram o padrão de franjas se formar, já o mediram, já calcularam algo a partir dele. Agora precisam fazer o caminho inverso, e essa familiaridade com o arranjo experimental libera atenção para o que realmente importa: a qualidade das medidas.

Figura 4 - Arranjos experimentais para a determinação do comprimento de onda: à esquerda, incidência de laser vermelho sobre o fio de cabelo; à direita, incidência de laser verde, ambos devidamente fixados nos suportes e alinhados no trilho.



Fonte: Autor (2026).

Sob orientação do roteiro, cada grupo executa a montagem, mede a distância entre o obstáculo e o anteparo e determina o espaçamento entre as franjas escuras. Com esses dados em mãos, aplicam o modelo matemático correspondente e chegam a um

valor para o comprimento de onda do laser utilizado. O momento seguinte é o mais rico da aula: comparar esse valor com o nominal esperado para a cor do laser utilizado, vermelho ou verde, e perguntar, sem pressa, o que a diferença entre os dois significa.

O fio de cabelo é um material biológico: sua espessura varia ao longo do comprimento, de pessoa para pessoa e até de uma medição para outra. Ele não vem com um valor nominal certificado. Isso significa que o experimento carrega, desde sua montagem, uma incerteza que nenhum cuidado na coleta de dados consegue eliminar completamente. Quando os estudantes percebem isso, e é importante que percebam por conta própria, a partir da análise dos resultados e não por uma explicação prévia do professor, uma pergunta inevitável surge: como poderíamos fazer melhor?

Essa pergunta é o ponto de chegada da atividade. Instigar os estudantes a propor ajustes metodológicos, como usar uma rede de difração com espaçamento calibrado, repetir medidas com fios de diferentes espessuras ou aumentar a distância ao anteparo para ampliar o padrão, é convidá-los a pensar como experimentadores, não como executores de roteiro. Eles estão, nesse momento, construindo explicações para os limites do próprio experimento (PC3) e propondo soluções baseadas em raciocínio científico (PE1), o que representa um dos movimentos epistêmicos mais sofisticados que esta SEI provoca.

Vale também aproveitar a discussão para uma conversa mais ampla sobre o que significa confiar em um resultado experimental. A calibração de instrumentos, a escolha de materiais de referência e a repetição de medidas como estratégia para reduzir incertezas compõem o que poderíamos chamar de cultura experimental, e raramente encontram espaço nas aulas de Física do Ensino Médio. Esta atividade abre essa porta de forma natural, porque a necessidade surge do próprio experimento, não de uma lista de conteúdos a cumprir.

NOME DA ESCOLA		
Professor (a): **NOME DO (A) PROFESSOR (A)**		
Turma:	Data:___/___/_____	Turno:

Alunos:

ATIVIDADE 5 – PRÁTICA EXPERIMENTAL

Medida do comprimento de onda do laser

Caro aluno, nesta atividade vamos usar o fenômeno de difração para medir o comprimento de onda da luz emitida por um laser utilizando o padrão de difração produzido ao incidir em um fio de cabelo, aplicando o princípio de Babinet. Siga as instruções e discuta com seus colegas e professor para resolver os questionamentos propostos.

Prática experimental

O padrão de difração produzido por um feixe laser quando atinge um fio de cabelo é muito similar ao da fenda, exceto na pequena região dentro do feixe. Isto pode ser explicado a partir do princípio de Babinet de máscaras complementares.

Materiais necessários

- Laser de baixa potência (de preferência, laser pointer)
- Fio de cabelo humano
- Suporte para fixação do fio de cabelo (pode ser um suporte de papelão ou outro material rígido)
- Régua ou fita métrica
- Papel milimetrado ou anteparo branco
- Caneta e papel para anotações
- Calculadora científica

Procedimento experimental

1. Montagem do experimento:
- Fixe o fio de cabelo no suporte, esticando-o suavemente para que fique reto. Certifique-se de que ele esteja bem-posicionado e firme.
- Posicione o laser de modo que o feixe incida perpendicularmente ao fio de cabelo. Ajuste a distância entre o laser e o fio para aproximadamente 1 metro.

2. Projeção do padrão de difração:
- Coloque o papel milimetrado ou o anteparo branco a uma distância conhecida e fixa (por exemplo, 1 metro) atrás do fio de cabelo. Certifique-se de que o feixe de laser passe pelo fio de cabelo e atinja o anteparo.
- Ligue o laser e observe o padrão de difração formado no anteparo. O padrão deve consistir em uma série de franjas claras e escuras.

3. Medição das franjas de difração:
- Meça a distância entre o centro de uma franja luminosa e o centro de outra franja luminosa adjacente. Esta distância será chamada de (y).

- Anote a distância (L) entre o fio de cabelo e o anteparo.

- Repita a medição para várias franjas, se possível, e faça uma média para aumentar a precisão dos resultados.

4. Cálculo do comprimento de onda:
- Use a fórmula da difração para calcular o comprimento de onda (λ) da luz:

$$\lambda = \frac{dy}{L}$$

Onde:

- λ é o comprimento de onda da luz
- d é o diâmetro do fio de cabelo (pode ser medido com um micrômetro ou obtido de uma referência padrão)
- y é a distância entre o centro de duas franjas consecutivas
- L é a distância entre o fio de cabelo e o anteparo

5. Análise dos Resultados:
- Compare o valor experimental obtido com o valor teórico do comprimento de onda do laser (geralmente fornecido pelo fabricante). Discuta possíveis fontes de erro e como elas podem ter afetado o experimento.

3.1.5 Atividade 6 - Questões abertas: Identificação da geometria das aberturas pelos padrões de difração

Esta é a atividade de enceramento da SEI. Depois de observar, ler, simular e medir, os estudantes se deparam agora com uma tarefa aparentemente simples: olhar para um padrão de difração e deduzir qual forma de abertura o produziu. Não há experimento para montar, nem simulador para manipular. Há apenas a imagem, o conhecimento acumulado nas aulas anteriores e o raciocínio de cada um.

A atividade começa de forma individual e intencional. Pedir que cada estudante responda sozinho, antes de qualquer conversa com os colegas, não é uma formalidade avaliativa: é uma forma de garantir que cada um precise recorrer ao próprio repertório antes de ter acesso ao dos outros. Esse momento de elaboração solitária é, muitas vezes, o mais revelador da sequência inteira. É nele que aparecem tanto as apropriações mais sofisticadas quanto as lacunas que passaram despercebidas nas aulas anteriores.

Após as respostas individuais, o professor faz um levantamento rápido das posições da turma antes de abrir a discussão. Saber que parte dos estudantes identificou corretamente determinado padrão, e que outra parte chegou a conclusões diferentes, é informação valiosa para conduzir o debate que se segue. A discussão não precisa partir do professor explicando quem acertou: ela funciona melhor quando os próprios estudantes são convidados a apresentar sua linha de raciocínio e a confrontá-la com a dos colegas.

NOME DA ESCOLA		
Professora: **NOME DO (A) PROFESSOR (A)**		
Turma:	Data:___/___/_____	Turno:
Alunos:		

ATIVIDADE 6 – QUESTÕES ABERTAS

Identificação da geometria das aberturas pelos padrões de difração

Caro aluno, nesta atividade vamos analisar figuras de diferentes padrões de difração gerados por aberturas de várias geometrias e identificar a forma da abertura responsável por cada padrão. Siga as instruções e discuta com seus colegas e professor para resolver os questionamentos propostos.

Questões abertas

Procedimento

1. **Observação das Figuras:**

Olhe atentamente para cada figura apresentada, que representa um padrão de difração gerado por um feixe de laser ao passar por diferentes aberturas.

2. **Questões Abertas:**

Figura 1 - Observe o padrão de difração apresentado. Qual é a forma da abertura que você acredita ter gerado esse padrão? Descreva as características do padrão que levaram você a essa conclusão.



Figura 2 - Ao analisar o padrão de difração dessa figura, qual geometria de abertura você considera responsável por ele? Quais aspectos do padrão apoiam sua hipótese?

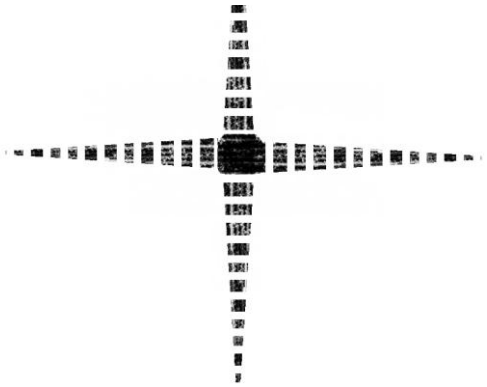


Figura 3 - Examine o padrão de difração mostrado. Qual é a forma da abertura que poderia ter produzido esse padrão? Justifique sua resposta com base nas características observadas.

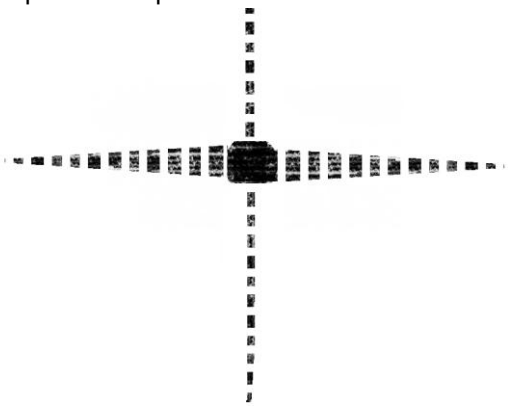


Figura 4 - Considerando o padrão de difração apresentado nesta figura, qual é a provável geometria da abertura? Quais elementos do padrão sugerem essa forma específica?

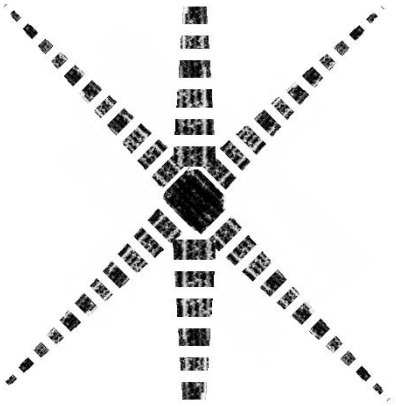
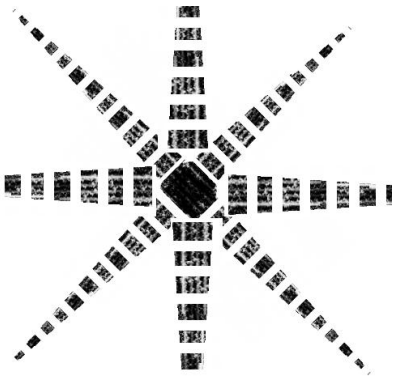


Figura 5 - Para cada padrão de difração mostrado, analise as características visíveis e determine a forma da abertura que poderia ter gerado cada padrão. Explique como as propriedades do padrão ajudam a identificar a geometria da abertura.



3. Discussão:

Compare suas respostas com as de seus colegas e discuta como os diferentes formatos de abertura influenciam os padrões de difração observados.

Explore como o princípio de Huygens e a teoria da difração explicam a relação entre a geometria da abertura e os padrões resultantes.

4. Conclusão:

Redija uma conclusão sobre a relação entre a forma das aberturas e os padrões de difração gerados. Discuta a importância de reconhecer essa relação no estudo da óptica e como isso pode ser aplicado em contextos práticos.

E é aí que esta atividade revela algo que as anteriores não conseguiam provocar com a mesma intensidade. Um estudante que compreendeu profundamente a relação entre a geometria da abertura e o padrão resultante consegue, ao explicar seu raciocínio para um colega que errou, fazer mais do que o professor faria com uma correção direta. Ele faz isso na linguagem da turma, a partir de uma dificuldade que provavelmente também enfrentou, com exemplos que fazem sentido para quem está do outro lado. Ao mesmo tempo, quem erra e precisa reformular sua explicação inicial está fazendo exatamente o que a ciência faz o tempo todo: revisando um modelo à luz de novas evidências e argumentos.

O professor, nesse momento, atua menos como fonte de respostas e mais como organizador das interações. Identificar quais estudantes têm raciocínios complementares, aproximar grupos com conclusões divergentes, fazer perguntas que obriguem a turma a ser mais precisa nas justificativas: tudo isso compõe a mediação pedagógica que transforma uma correção coletiva num episódio genuíno de legitimação de ideias (PE4).

Ao final, vale retomar com a turma o percurso completo da SEI. Os registros guardados desde a primeira atividade podem ser úteis aqui: comparar o que cada um escreveu na Atividade 1 com o que consegue argumentar agora é uma forma concreta de tornar visível o desenvolvimento que ocorreu ao longo das seis aulas. Esse olhar

retrospectivo não é apenas um fechamento simbólico: é uma oportunidade para que os próprios estudantes reconheçam, com evidências nas mãos, que aprenderam algo que não sabiam antes.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Concebemos este Produto Educacional como um guia didático para o ensino de difração, mas, acima de tudo, como um instrumento de possibilidade. Estruturamos caminhos diversificados que perpassam a experimentação investigativa, o diálogo com o texto e as práticas computacionais, mas sabemos que o foco central vai além da aprendizagem da óptica física ou dos fenômenos da luz. Nossa intenção é aproximar o fazer científico da realidade de nossos jovens, promovendo o desenvolvimento de práticas científicas e epistêmicas.

Ao aplicarmos esta Sequência de Ensino Investigativa (SEI), entendemos ser vital que o diálogo ocupe o centro da cena. É preciso estimular o compartilhamento de ideias e o confronto de percepções para que, dessa polifonia, brotem hipóteses sólidas. O que buscamos é um ambiente em que o conhecimento conceitual se encontre com a criatividade e onde o trabalho coletivo seja a ferramenta para enfrentar as situações-problema que propomos aos estudantes.

Para que essa dinâmica funcione, cabe-nos o cuidado prévio com os materiais e roteiros, não por apego burocrático ao planejamento, mas para garantir que o tempo em sala seja preservado para o que realmente importa: o pensamento em curso. Antecipar imprevistos técnicos é uma forma de assegurar que os estudantes não se percam em dificuldades operacionais, mas se concentrem no desafio intelectual de construir sentido sobre os fenômenos investigados.

É preciso, portanto, garantir o tempo do pensamento. Permitir que os grupos falem, analisem e validem suas próprias ideias antes de qualquer formalização. Nesse processo, a mediação do professor não pode ser a de quem apenas aponta o erro ou o acerto, mas a de quem caminha junto, potencializando a apropriação do saber e fomentando as práticas epistêmicas que conferem autonomia intelectual aos estudantes. É nesse processo de compartilhamento que as práticas de avaliação e legitimação de ideias, centrais ao Ensino por Investigação, encontram as condições para se desenvolver de forma genuína.

Sugerimos que a avaliação ocorra de forma processual e formativa. O professor deve observar não apenas as respostas finais nos roteiros, mas a interação dos grupos durante as discussões, a capacidade de formular hipóteses e a clareza na comunicação das ideias. As atividades escritas respondidas pelos grupos podem ser ferramentas capazes de avaliar o desenvolvimento do conhecimento dos estudantes a respeito da difração, o questionário final (Atividade 6) pode ser utilizado como instrumento somativo para avaliar a consolidação conceitual da geometria das aberturas e dos padrões de difração.

Por fim, lembramos que este material é um objeto a ser moldado por suas mãos. Antes de implementá-lo, olhe para sua escola, para seus estudantes e para o tempo disponível. Faça as adequações que a sua realidade exigir, pois este guia só ganha vida e se torna efetivo quando potencializa a sua voz e a sua identidade docente.

REFERÊNCIAS

AIKENHEAD, Glen S. **Science education for everyday life: Evidence-based practice**. New York: Teachers College Press, 2006.

BACHELARD, Gaston. **A formação do espírito científico**. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996. (Obra original publicada em 1938).

BODEVAN, Jéssica Adriane de Souza; COELHO, Geide Rosa. Ensino por investigação, centro de ciências, práticas científicas e epistêmicas: análise de uma intervenção pedagógica. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 40, n. 1, p. 8-32, 2023.

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília, 2018.

CARVALHO, Anna Maria Pessoa de. Ensino e aprendizagem de Ciências: referenciais teóricos e dados empíricos das sequências de ensino investigativas-(SEI). **O uno e o diverso na educação**, 2011.

CARVALHO, Anna Maria Pessoa de. O ensino de ciências e a proposição de sequências de ensino investigativas. **Ensino de ciências por investigação: condições para implementação em sala de aula**. São Paulo: Cengage Learning, 1, 1-19, 2013.

CARVALHO, Anna Maria Pessoa de. Fundamentos Teóricos e Metodológicos do Ensino por Investigação. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, [S. l.], v. 18, n. 3, p. 765–794, 2018.

CARVALHO, Anna Maria Pessoa de. **Ensino de ciências por investigação: condições para implementação em sala de aula**. São Paulo: Cengage Learning, 2022.

DRIVER, Rosalind H.; NEWTON, Paul Edward.; OSBORNE, Jonathan. Establishing the norms of scientific argumentation in classrooms. **Science Education**, v. 84, n. 3, p. 287-312, 2000.

DRIVER, Rosalind H.; LEACH, John; MILLAR, Robin; SCOTT, Philip . **Young people's images of science**. Buckingham: Open University Press, 1996.

DUSCHL, Richard; OSBORNE, Jonathan. Supporting and promoting argumentation discourse in science education. **Studies in Science Education**, v. 38, n. 1, p. 39–72, 2002.

HODSON, Derek. Learning science, learning about science, doing science: different goals demand different learning methods. **International Journal of Science Education**, v.36, n.15, p.2534-53, 2014.

JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, María Pilar; ERDURAN, Sibel. **Argumentation in Science Education: Perspectives from Classroom-Based Research**. Dordrecht: Springer, 2007.

KELLY, Gregory J.; LICONA, Peter R. Epistemic Practices and Science Education. In: M. MATTHEWS (Ed.). **History, Philosophy and Science Teaching**, p. 139-165, Springer, 2018.

LEÃO, Marcelo Franco; KOLCENTI, Gustavo Gonçalves. Metodologias utilizadas para ensinar física no ensino fundamental: uma análise das publicações de 2014 a 2018. **South American Journal of Basic Education, Technical and Technological**, v. 8, n. 2, p. 57–77, 2021.

MUNFORD, Danusa; LIMA, Maria Emília Caixeta de Castro e. Ensinar ciências por investigação: em quê estamos de acordo?.**Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências** (Belo Horizonte), v. 9, n. 01, p. 89-111, 2007.

MORTIMER, Eduardo Fleury; SCOTT, Philip. Atividade discursiva nas salas de aula de ciências: uma ferramenta sociocultural para analisar e planejar o ensino. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 7, n. 3, p. 283-306, 2002.

RIBEIRO, Jair Lúcio Prados; VERDEAUX, Maria de Fátima da Silva. Atividades experimentais no ensino de óptica: uma revisão. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 34, p. 4403, 2012.

ROSA, Cleci Teresinha Werner da; DARROZ, Luiz Marcelo; MINOSSO, Fernanda Balzan. Alfabetização Científica e Ensino de Ciências nos Anos Iniciais: concepções e ações dos professores. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, 12(1), 154–174,2019.

SANDOVAL, William A. **Science education's need for a theory of epistemic cognition. Science Education**, v. 98, n. 3, p. 383–387, 2014.

SASSERON, Lúcia Helena. Alfabetização Científica, Ensino por Investigação e Argumentação: Relações entre Ciências da Natureza e Escola. **Ensaio em Educação em Ciências** (Belo Horizonte), 17 (spe), 49–67, 2015.

SASSERON, Lúcia Helena. Ensino de Ciências por Investigação e o Desenvolvimento de Práticas: Uma Mirada para a Base Nacional Comum Curricular. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 18, n. 3, p. 1061-1085, 2018.

SASSERON, Lúcia Helena; SILVA, Maíra Batistoni e. Sobre Alfabetização Científica e sobre práticas epistêmicas: encontros de ações para a pesquisa e ensino de ciências. In: MILARÉ, Tathiane; RICHETTI, Graziela Piccoli; LORENZETTI, Leonir; FILHO, Jose de Pinho Alves. **Alfabetização científica e tecnológica na educação em ciências: fundamentos e práticas**. 1. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2021.

SILVA, Maíra Batistoni e; GEROLIN, Eloísa Cristina; TRIVELATO, Sílvia L. Frateschi. A importância da autonomia dos estudantes para a ocorrência de práticas

epistêmicas no ensino por investigação. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, p. 905–933, 2018.

STUDART, Nelson. Inovando a Ensinagem de Física com Metodologias Ativas. **Revista do Professor de Física**, [S. l.], v. 3, n. 3, p. 1–24, 2021.

ZOMPERO, Andreia Freitas; LABURÚ, Carlos Eduardo. O ensino de ciências por investigação: conceituação e perspectivas para o ensino médio. **Revista Ensaio**, v. 13, n. 3, p. 67–83, 2011.


INSTITUTO
FEDERAL
Espírito Santo
Campus
Cariacica