



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
CURSO DE FÍSICA**

HUGO MARQUES DE SOUSA

EXPERIMENTOS DE ÓPTICA DE BAIXO CUSTO PARA O ENSINO MÉDIO

FORTALEZA

2026

HUGO MARQUES DE SOUSA

EXPERIMENTOS DE ÓPTICA DE BAIXO CUSTO PARA O ENSINO MÉDIO

Monografia apresentada ao Curso de Licenciatura em Física do Centro de Ciências da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do grau de Licenciado em Física.

Orientador: Prof. Dr. José Alves de Lima Júnior.

FORTALEZA
2026

HUGO MARQUES DE SOUSA

EXPERIMENTOS DE ÓPTICA DE BAIXO CUSTO PARA O ENSINO MÉDIO

Monografia apresentada ao Curso de Licenciatura em Física do Centro de Ciências da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do grau de Licenciado em Física.

Aprovada em 03 / 07 / 2026.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. José Alves de Lima Júnior (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Bruno Sousa Araújo
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dr. Rômulo Sampaio da Silva
Universidade Federal de Lavras (UFLA)

Dedico este trabalho aos meus pais, Francisco José Vieira e Ana Célia Rufino, e ao meu irmão, Kauan Marques, pela companhia e apoio incondicional durante toda essa jornada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família por todo o apoio e presença durante a graduação, sem vocês nada disso seria possível. Ao meu orientador, José Alves de Lima Júnior, pela dedicação, paciência, ajuda e confiança durante a escrita deste trabalho e a Iniciação Científica. Obrigado também aos membros da banca avaliadora, Prof. Dr. Bruno Sousa e Dr. Rômulo Sampaio, por aceitarem participar da avaliação do presente trabalho.

Não posso deixar de mencionar os colegas de graduação que me acompanharam nessa jornada, tanto nos momentos de descontração quanto na troca de conhecimento. Meu sincero agradecimento a todos, em especial a Ana Lívia Cavalcante, Antônio Levi Silva, Gislany Queiroz, Pedro Victor Braga, Thiago Albuquerque e Wesley Bezerra. Meu muito obrigado também aos colegas que, apesar de não conviverem tão frequentemente comigo, foram peças fundamentais em minha formação: Bruno Santos, Célio Rodrigues, Gustavo Borges, Matheus Bravo, Pedro Henrique e Vitória Fortuna.

Também sou extremamente grato aos colegas da pós-graduação que me apoiaram e ajudaram durante os dois anos de Iniciação Científica no Laboratório de Altas Pressões (LAP): Lucas Saraiva, Lúcio Rafael Ferreira, Rômulo Sampaio (novamente), Wagner Pereira e Yuri Gomes. Por fim, um agradecimento especial ao técnico do LAP, César Fernandes, pelas conversas e pelo "chafé". Meus mais genuínos agradecimentos a todo conhecimento passado e auxílio fornecido.

Não posso esquecer dos professores que me marcaram durante os longos anos de Ensino Básico. Obrigado, "Tia" Nilra, por me ensinar a ler e escrever, e desculpe pela falta de dedicação em decorar a tabuada, até hoje não cumpri essa tarefa. Obrigado, "Tio" Ribeiro, pelo incentivo aos estudos e por acreditar em mim, não cursei História e parei de escrever poesias, mas ainda lembro de nossas conversas. Por fim, mas não menos importante, devo agradecer também ao Professor Wellisson, por me fazer ter certeza que queria cursar licenciatura em Física durante o fim do terceiro ano do ensino médio e pela ótima supervisão durante o Estágio obrigatório 2, o senhor é um exemplo. Feliz é o aluno que os tem como professor!

Agradeço também aos professores do Departamento de Física da Universidade Federal do Ceará (UFC) pela dedicação e auxílio. À UFC, minha gratidão pelas oportunidades profissionais e pelo ensino de excelência que oferece.

Por último, agradeço às instituições de fomento — Pró-Reitoria de Assistência Estudantil (PRAE), Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) — pela oportunidade de participar da Bolsa de Iniciação Acadêmica (BIA), do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação à Docência (PIBID) e do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC), respectivamente. Sem estes incentivos, seria definitivamente inviável permanecer no curso.

”Essa é para você que não virou comida de tubarão.”

Mano Brown

RESUMO

Durante a educação básica pública (incluindo ensinos Fundamental e Médio) o contato com laboratórios de física é praticamente inexistente, realidade muito comum em todas as regiões brasileiras, pois apenas uma pequena porcentagem de escolas têm acesso a ambientes de laboratório de computação ou física. Tal deficiência resulta em aulas excessivamente teóricas, monótonas e, conseqüentemente, no desinteresse dos alunos. Visando minimizar os danos causados ao ensino de física ao longo dos anos, este trabalho propõe soluções de baixo custo para a carência de aparatos experimentais no ensino de óptica em escolas públicas, contendo descrições de cunho histórico e matemático (quando cabível) dos experimentos. A área da óptica (tanto geométrica quanto física) apresenta desafios particulares, pois as expressões matemáticas são frequentemente apresentadas sem demonstração prática e muito menos teórica, gerando estranhamento e uma sensação de desconexão com a realidade. Esse fato é paradoxal, uma vez que a óptica permeia o cotidiano, desde o funcionamento do olho humano até as tecnologias de imagem e comunicação que nos cercam. Com este trabalho, busca-se também aproximar esse campo fascinante da física da realidade discente, atribuindo significado visual às fórmulas que, muitas vezes, parecem abstrações desvinculadas do mundo natural, por meio de experimentos simples e de baixo custo.

Palavras-chave: óptica; ensino de física; experimentos de baixo custo; laboratório didático.

ABSTRACT

During public basic education (including elementary and high school), contact with physics laboratories is practically nonexistent, a very common reality in all Brazilian regions, as only a small percentage of schools have access to computer or physics lab environments. This deficiency results in excessively theoretical, monotonous classes and, consequently, student disinterest. Aiming to minimize the damage caused to physics teaching over the years, this work proposes low-cost solutions to address the lack of experimental apparatus in teaching optics in public schools, containing historical and mathematical descriptions (when applicable) of the experiments. The field of optics (both geometric and physical) presents particular challenges, as mathematical expressions are often presented without practical demonstration, much less theoretical derivation, generating bewilderment and a feeling of disconnection from reality. This fact is paradoxical, since optics permeates daily life, from the functioning of the human eye to the imaging and communication technologies that surround us. With this work, we also seek to bring this fascinating field of physics closer to the students' reality, attributing visual meaning to formulas that often seem like abstractions detached from the natural world, through simple, low-cost experiments.

Keywords: optics; physics teaching; low-cost experiments; didactic laboratory.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Competências e Habilidades dos PCNs.	22
Tabela 2 – Competências específicas para Ciências da Natureza.	24
Tabela 3 – Habilidades da BNCC norteadoras do trabalho.	25
Tabela 4 – Materiais para a construção da câmara escura.	29
Tabela 5 – Materiais para a construção da associação de espelhos planos.	34
Tabela 6 – Materiais para a construção do espelho de Lloyd.	40
Tabela 7 – Materiais para a construção do espectroscópio.	43

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Número de publicações relacionadas ao tema "ensino de física".	15
Figura 2 – Diagrama dos problemas de visão	19
Figura 3 – Superposição das cores RGB.	20
Figura 4 – Dimensões da câmara.	30
Figura 5 – Furo no fundo da lata.	31
Figura 6 – Parte interna da lata pintada de preto.	31
Figura 7 – Escala para a visualização das imagens.	32
Figura 8 – Câmara escura finalizada.	32
Figura 9 – Lâmpada com desenho.	33
Figura 10 – Imagem do desenho formada na câmara.	33
Figura 11 – Transferidor impresso.	35
Figura 12 – Espelhos usados.	35
Figura 13 – Espelhos fixados.	36
Figura 14 – Transferidor impresso.	36
Figura 15 – 2 imagens geradas pela associação, com ângulo de 120°	37
Figura 16 – 3 imagens geradas pela associação, com ângulo de 90°	37
Figura 17 – 4 imagens geradas pela associação, com ângulo de 70°	38
Figura 18 – 5 imagens geradas pela associação, com ângulo de 60°	38
Figura 19 – 6 imagens geradas pela associação, com ângulo de 50°	39
Figura 20 – Caixa cortada com anteparo.	40
Figura 21 – Laser vermelho utilizado.	41
Figura 22 – Experimento montado.	41
Figura 23 – Visualização das franjas de interferência.	42
Figura 24 – Lata pintada.	43
Figura 25 – Removendo as películas do DVD.	44
Figura 26 – DVD limpo.	44
Figura 27 – Rede de difração que será usada no experimento.	45
Figura 28 – Tampa da lata cortada.	45
Figura 29 – Tampa montada.	46
Figura 30 – Fenda no fundo da lata.	46
Figura 31 – Espectroscópio pronto.	47
Figura 32 – Espectro de lâmpada LED.	47
Figura 33 – Diagrama da Câmara escura.	53
Figura 34 – Diagrama da associação de espelhos planos.	54
Figura 35 – Diagrama do número de imagens formadas pela associação.	55
Figura 36 – Diagrama do espelho de Lloyd.	56
Figura 37 – Diagrama do espelho de Lloyd com os comprimentos importantes.	57
Figura 38 – Diagrama do espectroscópio.	58

LISTA DE SIGLAS

BNCC	Base Nacional Comum Curricular
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
PIBIC	Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica
PIBID	Programa Institucional de Bolsas de Iniciação à Docência
PCNs	Parâmetros Curriculares Nacionais
UFC	Universidade Federal do Ceará

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	A IMPORTÂNCIA DA FÍSICA EXPERIMENTAL NO ENSINO DE FÍSICA NO ENSINO MÉDIO	15
3	ÓPTICA NO ENSINO MÉDIO	18
3.1	Importância do ensino de óptica	18
3.1.1	<i>A visão humana</i>	<i>19</i>
3.1.2	<i>As telas de aparelhos eletrônicos</i>	<i>20</i>
3.1.3	<i>Comunicação e Transferência de dados</i>	<i>20</i>
3.2	Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs) e a Física no Ensino Médio . .	21
3.3	A BNCC e o Ensino de Óptica	22
3.4	Dificuldades de ensinar Óptica	25
4	ENSINO DE FÍSICA E APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA	27
4.1	A Teoria de Ausubel	27
4.2	Aprendizagem significativa e Aprendizagem mecânica	27
4.3	Organizadores prévios	28
4.4	Aplicações no ensino de física	28
5	EXPERIMENTOS PARA O ENSINO DE ÓTICA	29
5.1	Câmara escura	29
5.1.1	<i>Materiais</i>	<i>29</i>
5.1.2	<i>Montagem</i>	<i>30</i>
5.1.3	<i>Observações</i>	<i>32</i>
5.2	Associação de espelhos planos	33
5.2.1	<i>Materiais</i>	<i>34</i>
5.2.2	<i>Montagem</i>	<i>34</i>
5.2.3	<i>Observação</i>	<i>36</i>
5.3	Espelho de Lloyd	39
5.3.1	<i>Materiais</i>	<i>40</i>
5.3.2	<i>Montagem</i>	<i>40</i>
5.3.3	<i>Observações</i>	<i>41</i>
5.4	Espectroscópio	42
5.4.1	<i>Materiais</i>	<i>43</i>
5.4.2	<i>Montagem</i>	<i>43</i>
5.4.3	<i>Observações</i>	<i>47</i>
6	CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS	48
	REFERÊNCIAS	50
	APÊNDICE A – TEORIA PARA O EXPERIMENTO DA CÂMARA ES- CURA	53
	APÊNDICE B – TEORIA PARA O EXPERIMENTO DA ASSOCIAÇÃO DE ESPELHOS PLANOS	54

APÊNDICE C – TEORIA PARA O EXPERIMENTO DO ESPELHO DE LLOYD	56
APÊNDICE D – TEORIA PARA O EXPERIMENTO DO ESPECTROSCÓPIO	58

1 INTRODUÇÃO

É um fato que, com o passar dos anos, a educação vem sendo cada vez mais deixada em segundo plano. Os cortes na área têm sido significativos, com o governo anunciando a retirada de R\$ 42,3 bilhões do orçamento do Ministério da Educação até 2030 (G1, 2024). Inicialmente, em discursos, a educação é sempre apresentada como prioridade, mas, na realidade, observa-se negligência, falta de estrutura e condições inadequadas de trabalho e estudo. Tais problemas refletem-se diretamente nas escolas, tanto na estrutura física quanto nos indivíduos que as compõem. Afinal, sem alunos, professores, zeladores, cozinheiros e outros profissionais, não há escola. Sem laboratórios de informática ou experimentos, salas com projetores ou recursos audiovisuais, os professores veem-se limitados a aulas expositivas no quadro, sem utilizar simulações, vídeos, jogos ou atividades práticas. Naturalmente, esse processo é estressante tanto para os alunos quanto para os docentes. Os estudantes são submetidos a aulas que seguem a mesma metodologia (variando apenas o conteúdo) em até 12 disciplinas diferentes. Já os professores são obrigados a condensar uma quantidade excessiva de matéria em poucas horas e a restringir-se ao quadro, sem poder explorar metodologias interativas ou diversificar suas abordagens em sala de aula.

A Física, especialmente, é definida como a área das ciências naturais que estuda os fenômenos relacionados à matéria ao longo do espaço e do tempo. Assim como outras ciências, ela pode ser subdividida em ramos de estudo, como Mecânica, Ondulatória, Óptica, Eletromagnetismo etc, além de duas principais vertentes de pesquisa: a Física Teórica e a Física Experimental. Ambas diferenciam-se apenas na forma de investigar e interpretar o Universo, mas compartilham o mesmo objeto de estudo: compreender a natureza. Um campo que vem ganhando destaque ao longo dos anos é o Ensino de Física, cujo foco principal não é a Física em si, mas sim os métodos e estratégias para ensiná-la. Como destacam Abril; Nardi, 2015 (p. 417), "é preciso, então, considerar resultados de pesquisa que permitam orientar o licenciando, tanto para a maior compreensão do conhecimento científico que vai ensinar (a física), quanto para o conhecimento que lhe permita entender o contexto no qual vai ensinar, os objetivos de ensinar, e as estratégias de ensino, a fim de atingir os objetivos educacionais propostos".

Na literatura, observa-se que muitos estudos relacionados ao Ensino de Física utilizam abordagens pautadas na física experimental, principalmente devido ao seu caráter visual e exploratório. Essa metodologia é frequentemente empregada para despertar o interesse dos alunos e apresentar conceitos físicos de maneira menos abstrata e mais contextualizada.

Os trabalhos publicados no âmbito do Ensino de Física levam em consideração a falta de estrutura nos ambientes escolares, tentando apresentar soluções para esses problemas. Uma delas são os experimentos de baixo custo, experimentos feitos, em geral, com materiais recicláveis e/ou de baixo custo aquisitivo e que podem ser encontrados facilmente. As vantagens dessa abordagem são óbvias: trazer a física para mais perto dos alunos através da física experimental e atribuir sentido às equações matemáticas vistas durante as aulas são só algumas delas.

Visando utilizar as ideias difundidas nas pesquisas em Ensino de Física e assim auxiliar professores e alunos no processo de aprendizagem da Física, mais especificamente na

área de Óptica, selecionou-se um total de 4 experimentos que condensam de forma satisfatória a Óptica que deveria ser abordada no Ensino Médio. Ao descrever a trajetória histórica dos experimentos e justificar matematicamente os resultados obtidos, busca-se proporcionar ao docente ampla competência para abordar os experimentos em sala de aula em sua totalidade.

Os experimentos selecionados foram:

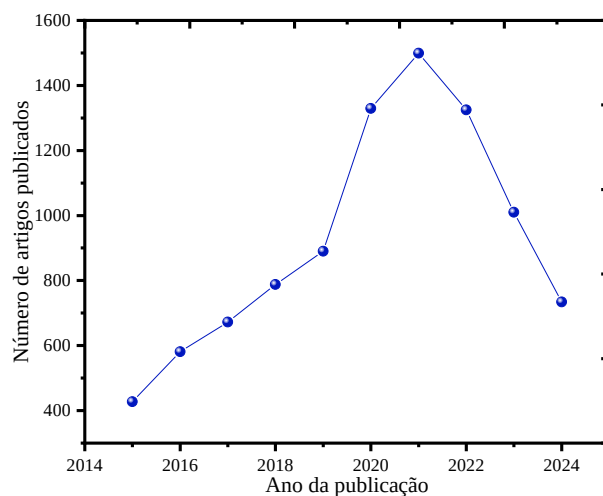
1. Câmara escura;
2. Associação de espelhos planos;
3. Espelho de Lloyd;
4. Espectrômetro caseiro.

Também serão analisados os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs) e a Base Nacional Comum Curricular (BNCC), que é o documento que regulamenta os temas a serem ministrados na educação brasileira. Ao tomar esses documentos como base e analisar as seções referentes à Óptica, poderá ser justificada a escolha dos experimentos.

2 A IMPORTÂNCIA DA FÍSICA EXPERIMENTAL NO ENSINO DE FÍSICA NO ENSINO MÉDIO

Ao considerar a física como experimentação da natureza, surge uma dúvida de forma natural: qual a importância da física experimental no ensino? Essa pergunta, que a priori parece simples, revela-se de solução complexa quando analisa-se o tópico na literatura. O extenso volume de publicações nacionais e internacionais, palestras e *workshops* sobre o assunto não deixa margem para dúvidas. Conforme ilustrado na Figura 1, a quantidade de artigos nacionais publicados com esse tema teve um enorme salto com a pandemia, e mesmo tendo queda, ainda assim permanece maior do que os números anteriores à mesma.

Figura 1: Número de publicações relacionadas ao tema "ensino de física".



Fonte: Portal de Periódicos da CAPES.

O fato é que a Física, enquanto ciência natural, baseia-se na descrição da natureza. Logo, o ensino da física nas escolas parte, inicialmente, de um equívoco ao tentar descrever não a natureza em si, mas sim exemplos dos livros didáticos, frequentemente desconexos da realidade tanto dos alunos quanto dos professores. Não se busca fazer com que o aluno compreenda como determinado efeito surge na natureza ou como certa equação é obtida, nem os motivos pelos quais ela descreve adequadamente um fenômeno. Ao invés disso, exige-se que o aluno memorize uma lista de equações que supostamente descrevem o comportamento de fenômenos (que também supostamente) estão presentes na natureza, e que aprenda a aplicá-las mecanicamente à diferentes tipos de enunciados. Vale ressaltar que essas críticas não são recentes, uma vez que os problemas por elas apontados já haviam sido observados há muito tempo por muitos autores.

Ao contrário do desejável, a maioria dos manuais de apoio ou livros didáticos disponíveis para auxílio do trabalho dos professores consiste ainda de orientações do tipo "livro de receitas", associadas fortemente a uma abordagem tradicional de ensino, restritas a demonstrações fechadas e a laboratórios de verificação e confirmação da teoria previamente definida, o que sem dúvida, está muito distante das propostas atuais para um ensino de Física significativo e consistente com as finalidades do ensino no nível médio (Abib; Araújo, 2003, p. 177).

A Física Experimental, nesse contexto, surge como uma esperança para que ainda exista verdadeiramente física nas escolas. Por meio de experimentos, é possível atribuir significado às equações e demonstrar de forma prática a existência de fenômenos e efeitos que, nos livros didáticos, frequentemente são apresentados apenas textualmente. Dessa forma, o aluno pode identificar naturalmente situações cotidianas em que ocorrem os mesmos fenômenos ou fenômenos análogos, utilizando seu conhecimento prévio como âncora¹. Isso permite associar uma concepção formal e fisicamente consistente a algo que ele já reconhece em sua experiência diária.

Ainda é persistente a discussão sobre como esses experimentos devem ser aplicados, uma vez que a física experimental pode ser abordada de diversas formas em sala de aula. Na literatura, identifica-se uma forte crítica aos experimentos que se limitam a seguir uma sequência de pontos predeterminados pelo professor, sem questionar seus fundamentos e, conseqüentemente, sem de fato realizar física.

Isso inclui retomar o papel da experimentação, atribuindo-lhe uma maior abrangência para além das situações convencionais de experimentação em laboratório. As abordagens mais tradicionais precisariam, portanto, ser revistas, evitando-se “experiências” que se reduzem à execução de uma lista de procedimentos previamente fixados, cujo sentido nem sempre fica claro para o aluno. (Brasil, 2002, p. 84).

Com isso, conclui-se que a física experimental é de suma importância nesse contexto. Não qualquer física experimental, mas sim aquela que faz o aluno observar fenômenos, formular perguntas, criar hipóteses, analisar resultados e desenvolver teorias. Ou seja, os experimentos não devem servir apenas para confirmar o que foi dito pelo professor ou pelo livro didático, mas sim para estimular o pensamento científico por meio do método científico. Nesse processo, o papel do professor é o de auxiliar os alunos, permitindo que eles se tornem os “protagonistas” da aprendizagem, deixando de ser receptores passivos para assumirem uma postura ativa. Dessa forma, espera-se que o aluno perceba que

O cientista olha para a natureza e observa o fenômeno. Fica curioso em compreendê-lo, tenta isolar algumas características daquela observação. Faz algumas hipóteses, isto é, toma como ponto de partida algumas idéias, baseado em seu conhecimento prévio do assunto. Com base nessas hipóteses, monta experimentos, faz análises, medidas, cálculos. Tenta tirar conclusões genéricas de suas observações e, com base nessas conclusões, prever o resultado de uma outra experiência. (Almeida; Barroso; Magalhães, 2002, p.12).

Se a física experimental é essencial para um ensino significativo, é necessário analisar como essa abordagem pode ser aplicada em áreas específicas da disciplina, como a Óptica. Esse ramo da física, que estuda a luz², apresenta desafios particulares no ensino médio devido à sua natureza abstrata quando abordada exclusivamente de forma teórica. No próximo capítulo, será explorada a importância da Óptica no currículo escolar, analisando-se: as diretrizes dos

¹Mais tarde, veremos que este é conhecido como “subsunção” graças a Teoria da aprendizagem significativa (Ausubel, 1986).

²Por “luz” entende-se todo tipo de onda eletromagnética, não apenas a luz visível, que na prática representa uma pequena parcela desse amplo espectro.

documentos oficiais (PCNs e BNCC), as dificuldades enfrentadas por professores e alunos, e a justificativa para a seleção dos experimentos de baixo custo previamente citados, que serão detalhados posteriormente.

3 ÓPTICA NO ENSINO MÉDIO

A Física, enquanto área ampla, pode ser subdividida em campos mais específicos como Mecânica, Ondulatória, Eletromagnetismo etc. Dentre esses, destaca-se a Óptica como um dos ramos fundamentais da física, responsável pelo estudo da luz e seus fenômenos. Esse campo abrange desde a investigação da natureza da luz e suas propriedades básicas até suas interações com a matéria e aplicações tecnológicas.

A Óptica desenvolvida inicialmente por Christian Huygens e Isaac Newton por volta de 1700 é hoje conhecida como Óptica Geométrica. Nessa abordagem, estudam-se efeitos cotidianos como:

- A propagação retilínea da luz;
- Fenômenos de reflexão e refração;
- Comportamento de espelhos e lentes.

Por outro lado, os avanços científicos do final do século XIX — especialmente os trabalhos de Michelson e Morley na década de 1890 — deram origem à Óptica Física. Diferente da Óptica Geométrica, essa vertente pode passar despercebida no cotidiano, descrevendo fenômenos como:

- Interferência;
- Difração;
- Polarização.

No geral, a Óptica Geométrica nos dirá o porquê de quando vemos uma pessoa no espelho, a mesma também nos vê, e a Óptica Física nos explicará como vemos cores formadas na superfície de uma bolha de sabão mesmo quando incidimos luz branca sobre ela. Com isso, vamos analisar a importância do ensino de Óptica no Ensino Médio, baseando-nos em artigos e documentos oficiais do Governo Brasileiro.

3.1 Importância do ensino de óptica

Ao longo deste capítulo, será demonstrado como a Óptica constitui um recurso pedagógico eficaz para o desenvolvimento das habilidades previstas nos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs) e na Base Nacional Comum Curricular (BNCC)³. Contudo, a justificativa genérica de “desenvolver as habilidades dos PCNs e BNCC” mostra-se insuficiente para comprovar a relevância do estudo da Óptica para os alunos. Buscar-se-á, portanto, fundamentar a seleção deste tema mediante:

- Aplicações práticas cotidianas;

³ A função específica de cada documento será detalhada posteriormente.

- Elucidação conceitual para docentes e discentes;
- Emergência natural de interdisciplinaridade durante as discussões.

Será verificado ainda como esse conteúdo estabelece conexões com outras áreas do conhecimento de forma genuína e direta.

A óptica é uma área de conhecimento ampla, e seus fenômenos estão intimamente interligados ao eletromagnetismo, à ondulatória, à física quântica, à relatividade e até mesmo à mecânica, em alguns casos (como a fotografia estroboscópica de projéteis) (Ribeiro; Verdeaux, 2012, p. 4403-2).

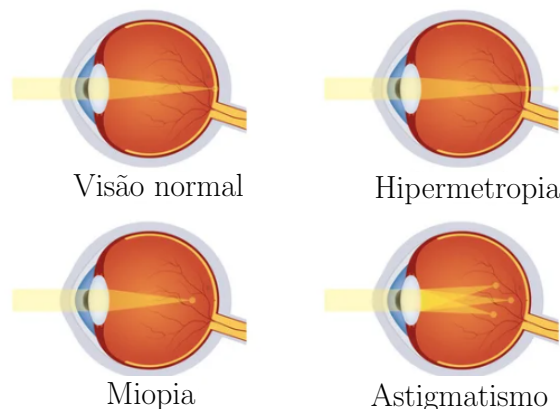
3.1.1 A visão humana

O olho humano constitui um sofisticado sistema óptico natural. Esse sistema pode ser descrito de forma simplificada como composto por uma lente biconvexa (cristalino), responsável por captar e focalizar os raios luminosos e um anteparo fotossensível (retina), onde ocorre a formação das imagens. Observa-se que as imagens projetadas na retina são invertidas, sendo corrigidas pelo cérebro por meio de processos evolutivos adaptativos, resultando na percepção visual da imagem em sua orientação vertical habitual.

Os óculos atuam como dispositivos corretivos para defeitos de focalização ocular. Por meio do exame de vista, é possível diagnosticar as principais anomalias visuais que estão listadas abaixo e detalhadas na Figura 2.

- Miopia: formação da imagem anterior à retina;
- Hipermetropia: formação da imagem posterior à retina;
- Astigmatismo: formação de múltiplos pontos focais na retina.

Figura 2: Diagrama dos problemas de visão



Fonte: adaptado de

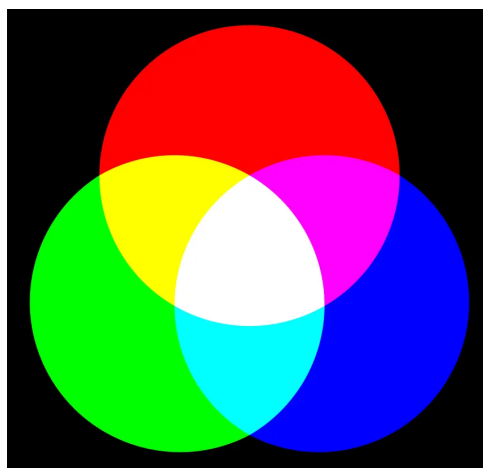
<https://depositphotos.com/es/vectors/diagrama-ocular.html?qview=454019332>, acessado em 04 jul. de 2026.

Embora existam outras condições, essas constituem as alterações mais prevalentes. Cada caso exige lentes específicas, cujas características ópticas variam conforme o tipo de distúrbio e o grau de comprometimento visual.

3.1.2 As telas de aparelhos eletrônicos

As telas de dispositivos eletrônicos contemporâneos utilizam exclusivamente a tecnologia LED⁴. Ao ampliar uma dessas telas, observa-se que cada pixel é composto por minúsculos LEDs nas cores vermelha, verde e azul (tecnologia denominada RGB⁵). Essa combinação permite reproduzir todo o espectro visível porque a luz branca resulta da superposição dessas três cores primárias e as demais cores são obtidas mediante variação de intensidade de cada componente RGB, como podemos verificar na Figura 3.

Figura 3: Superposição das cores RGB.



Fonte: o autor.

3.1.3 Comunicação e Transferência de dados

Toda a comunicação moderna e sistemas de entretenimento fundamentam-se em princípios ópticos. Essa dependência estende-se desde as infraestruturas de internet (à Cabo e *Wireless*) até as transmissões de televisão e rádio. Como exemplo, pode-se citar a Lei de Snell⁶:

A lei de Snell é usada não só para explicar a refração, mas também a reflexão total interna, fenômeno que merece atenção especial devido às suas várias aplicações práticas, que vão desde sua utilização em instrumentos ópticos até os mais modernos sistemas de telecomunicações (Ribeiro; Verdeaux, 2012, p. 4403-5).

O processo de reflexão interna total permite a transmissão de dados desde as distribuidoras de internet até os usuários finais através de fibras ópticas sem perda de informação⁷.

⁴Do inglês "*Light Emitting Diode*" (Diodo Emissor de Luz), onde um diodo é um componente eletrônico que permite o fluxo unidirecional de corrente elétrica.

⁵Do inglês "*Red*", "*Green*" e "*Blue*", que são, respectivamente, "Vermelho", "Verde" e "Azul".

⁶Lei que rege a refração, fenômeno de desvio luminoso ao transitar entre meios materiais distintos.

⁷Cabos com estrutura dielétrica interna que confinam e refletem as ondas portadoras de informação por sucessivas reflexões.

Um mecanismo análogo, porém distinto, ocorre nas redes de *internet* sem fio, onde a atmosfera funciona como meio refletor natural.

Toda a comunicação por satélite também segue esta linha. Os satélites orbitam a Terra, recebem ondas com a informação que deve ser enviada, e à refletem, assim "transportando" a informação.

3.2 Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs) e a Física no Ensino Médio

Os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs) constituem diretrizes educacionais elaboradas pelo Governo Federal para orientar o sistema de ensino brasileiro. Apresentam distinção entre as áreas do conhecimento e por disciplinas também. Vale pontuar ainda que a rede pública de ensino segue obrigatoriamente essas diretrizes e a rede privada pode adotá-las voluntariamente, sem caráter compulsório.

Os PCNs têm como principal objetivo garantir uma educação de qualidade, possibilitando que todos os estudantes tenham acesso aos conhecimentos necessários para o exercício da cidadania e para sua inserção no mercado de trabalho. Para isso, eles estabelecem diretrizes pedagógicas que buscam promover o desenvolvimento integral dos estudantes, contemplando particularidades individuais de cada indivíduo.

Os documentos oficiais evidenciam que os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs) prezam por uma abordagem educacional que ultrapassa a mera interdisciplinaridade (integração entre disciplinas de uma mesma área), alcançando a transdisciplinaridade (articulação entre diferentes áreas do conhecimento). Nessa perspectiva:

- As disciplinas funcionam como lentes epistemológicas distintas;
- Cada área do conhecimento oferece um recorte específico sobre a natureza;
- O conjunto dessas perspectivas permite uma compreensão multidimensional da realidade.

A fundamentação teórica sustenta que:

- A natureza pode e deve ser examinada sob múltiplos enfoques;
- A integração de olhares enriquece o processo de aprendizagem;
- A educação transcende a fragmentação do saber.

Esse discurso é defendido em diversos trechos dos PCNs.

A poluição ambiental, por sua vez, seja ela urbana ou rural, do solo, das águas ou do ar, não é algo só "biológico", só "físico" ou só "químico", pois o ambiente, poluído ou não, não cabe nas fronteiras de qualquer disciplina, exigindo, aliás, não somente as Ciências da Natureza, mas também as Ciências Humanas, se se pretender que a problemática efetivamente sócio-ambiental possa ser mais adequadamente equacionada, num exemplo da interdisciplinaridade imposta pela temática real (Brasil, 1999, p. 8).

É urgente reformular o ensino de Física nas escolas, garantindo que as equações tenham significado prático e não permaneçam como meras abstrações teóricas. Para isso, deve-se promover um conhecimento contextualizado, demonstrando aplicações cotidianas dos conceitos, desde a interpretação da "conta de luz" até a compreensão do movimento orbital da Lua em torno da Terra. Essa abordagem revela como a Física permeia todos os fenômenos naturais e tecnológicos. Nessa transformação pedagógica, a interdisciplinaridade e a transdisciplinaridade surgem naturalmente, uma vez que os processos físicos podem ser analisados sob múltiplas perspectivas. O ensino deixa de ser fragmentado para se tornar uma rede de conexões, onde cada conceito se relaciona com outras áreas do conhecimento, enriquecendo a compreensão da realidade.

Os PCNs organizam-se em Competências e Habilidades específicas para cada disciplina. No caso da Física, identificam-se 3 Competências gerais e 15 Habilidades a serem desenvolvidas pelos estudantes. A partir de uma análise criteriosa, selecionaram-se as Habilidades, e suas respectivas Competências, que serão trabalhadas no trabalho na Tabela 1. Todas as Habilidades selecionadas podem ser desenvolvidas através de experimentos, tendo em vista que giram em torno de elaborar sínteses, desenvolver capacidades de julgamento e investigar problemas, então se encaixam perfeitamente no contexto do nosso trabalho.

Tabela 1: Competências e Habilidades dos PCNs.

Competência	Habilidade
Representação e Comunicação	Elaborar sínteses ou esquemas estruturados dos temas físicos trabalhados.
Representação e Comunicação	Utilizar e compreender tabelas, gráficos e relações matemáticas gráficas para a expressão do saber físico. Ser capaz de discriminar e traduzir as linguagens matemática e discursiva entre si.
Representação e Comunicação	Expressar-se corretamente utilizando a linguagem física adequada e elementos de sua representação simbólica. Apresentar de forma clara e objetiva o conhecimento apreendido, através de tal linguagem.
Investigação e Compreensão	Desenvolver a capacidade de investigação física. Classificar, organizar, sistematizar. Identificar regularidades. Observar, estimar ordens de grandeza, compreender o conceito de medir, fazer hipóteses, testar.
Investigação e Compreensão	Conhecer e utilizar conceitos físicos. Relacionar grandezas, quantificar, identificar parâmetros relevantes. Compreender e utilizar leis e teorias físicas.
Investigação e Compreensão	Construir e investigar situações-problema, identificar a situação física, utilizar modelos físicos, generalizar de uma a outra situação, prever, avaliar, analisar previsões.
Contextualização sócio-cultural	Reconhecer a Física enquanto construção humana, aspectos de sua história e relações com o contexto cultural, social, político e econômico.

Fonte: Brasil, 1999, p. 29

3.3 A BNCC e o Ensino de Óptica

A Base Nacional Comum Curricular (BNCC) constitui um documento normativo que estabelece as competências (gerais e específicas), habilidades e aprendizagens essenciais a

serem desenvolvidas por todos os alunos ao longo da educação básica, compreendendo as etapas de Educação Infantil, Ensino Fundamental e Ensino Médio. Esse instrumento legal determina que tais elementos curriculares devem ser uniformes em todo o território nacional, independentemente da localização geográfica ou rede de ensino dos estudantes, visando assegurar equidade na formação acadêmica de alunos de mesma faixa etária. É fundamental destacar que a BNCC não se configura como um currículo pronto, mas sim como um referencial para a construção dos currículos locais pelas equipes pedagógicas e sua implementação é obrigatória tanto para instituições públicas quanto privadas, conforme determinação legal.

Na prática, observa-se que a disparidade educacional que a BNCC pretende eliminar persiste estruturalmente. Enquanto escolas particulares oferecem infraestrutura completa (iluminação, climatização, bibliotecas, ensino integral etc), muitas escolas públicas carecem até de condições básicas como abastecimento de água. Abstraindo-se dessa realidade desigual e considerando o modelo idealizado pelos documentos oficiais, pode-se identificar os conteúdos que um estudante do Ensino Médio deveria ter estudado.

A BNCC propõe um ensino contextualizado e aplicável, visando desenvolver no aluno capacidades para resolução de problemas concretos, pensamento crítico sistemático⁸, construção de argumentos fundamentados e flexibilidade cognitiva. No âmbito das Ciências da Natureza, o documento estabelece como objetivo central a formação de pensamento científico crítico. Essa diretriz encontra-se explicitada no preâmbulo da seção dedicada às Ciências da Natureza na edição de 2018 do documento oficial, que destaca:

Na Educação Básica, a área de Ciências da Natureza deve contribuir com a construção de uma base de conhecimentos contextualizada, que prepare os estudantes para fazer julgamentos, tomar iniciativas, elaborar argumentos e apresentar proposições alternativas, bem como fazer uso criterioso de diversas tecnologias. O desenvolvimento dessas práticas e a interação com as demais áreas do conhecimento favorecem discussões sobre as implicações éticas, socioculturais, políticas e econômicas de temas relacionados às Ciências da Natureza (Brasil, 2018, p. 537).

Através das Competências gerais, Competências específicas e das Habilidades, a BNCC descreve características que os estudante devem adquirir durante o Ensino Básico.

- Competências gerais.

Lista de 10 competências que todo estudante deve desenvolver durante o ciclo do Ensino Básico, sendo pautadas em desenvolver um cidadão crítico e questionador. No geral, estas competências não dizem respeito a uma área do conhecimento em específico.

- Competências específicas.

Também é uma lista de competências que todo estudante deve desenvolver durante o Ensino Básico, porém agora considerando cada área separadamente. Podemos entender as competências específicas como o conjunto de competências que cada área pode fornecer ao aluno tal que no final do processo todas as 10 competências gerais tenham sido alcançadas. Cada

⁸Isto é, um cidadão capaz de pensar criticamente de forma sistemática, ou seja, organizada.

área do conhecimento (Linguagens, Ciências Humanas, Matemática e Ciências da Natureza) conta com um número específico de competências específicas, totalizando 3 para Ciências da Natureza, como pode ser consultado na Tabela 2.

Tabela 2: Competências específicas para Ciências da Natureza.

Competência	Intuito
1	Analisar fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas relações entre matéria e energia, para propor ações individuais e coletivas que aperfeiçoem processos produtivos, minimizem impactos socioambientais e melhorem as condições de vida em âmbito local, regional e/ou global.
2	Construir e utilizar interpretações sobre a dinâmica da Vida, da Terra e do Cosmos para elaborar argumentos, realizar previsões sobre o funcionamento e a evolução dos seres vivos e do Universo, e fundamentar decisões éticas e responsáveis.
3	Analisar situações-problema e avaliar aplicações do conhecimento científico e tecnológico e suas implicações no mundo, utilizando procedimentos e linguagens próprios das Ciências da Natureza, para propor soluções que considerem demandas locais, regionais e/ou globais, e comunicar suas descobertas e conclusões a públicos variados, em diversos contextos e por meio de diferentes mídias e tecnologias digitais de informação e comunicação.

Fonte: Brasil, 2018, p. 539.

Observa-se que a proposta deste trabalho alinha-se perfeitamente à Competência Específica 3 da BNCC. Essa correlação torna-se evidente ao analisar as Habilidades associadas a cada Competência, conforme será demonstrado posteriormente.

- Habilidades

As Habilidades representam os conhecimentos e as capacidades operacionais necessários para o desenvolvimento pleno das competências. Para cada Competência Específica da BNCC, existe um conjunto de Habilidades correlacionadas disponíveis na Tabela 3.

Tabela 3: Habilidades da BNCC norteadoras do trabalho.

Comp.	Habilidade	Intuito
3	EM13CNT301	Construir questões, elaborar hipóteses, previsões e estimativas, empregar instrumentos de medição e representar e interpretar modelos explicativos, dados e/ou resultados experimentais para construir, avaliar e justificar conclusões no enfrentamento de situações-problema sob uma perspectiva científica.
3	EM13CNT302	Comunicar, para públicos variados, em diversos contextos, resultados de análises, pesquisas e/ou experimentos – interpretando gráficos, tabelas, símbolos, códigos, sistemas de classificação e equações, elaborando textos e utilizando diferentes mídias e tecnologias digitais de informação e comunicação, de modo a promover debates em torno de temas científicos e/ou tecnológicos de relevância sociocultural.
3	EM13CNT303	Interpretar textos de divulgação científica que tratem de temáticas das Ciências da Natureza, disponíveis em diferentes mídias, considerando a apresentação dos dados, a consistência dos argumentos e a coerência das conclusões, visando construir estratégias de seleção de fontes confiáveis de informações.

Fonte: Brasil, 2018, p. 545.

Tendo em vista os pontos discutidos e as habilidades destacadas, selecionaram-se experimentos que correspondam às competências que os estudantes devem desenvolver durante o Ensino Médio, etapa educacional focada neste trabalho. Através de experimentos de Óptica, busca-se incentivar os alunos a elaborarem hipóteses, compartilharem análises e interpretar textos de divulgação científica. O objetivo central consiste em formar cidadãos críticos e reflexivos, conforme exigido pela BNCC, superando desafios da educação. Essa proposta alinha-se às atuais diretrizes da educação científica, que privilegiam a aprendizagem investigativa e a construção significativa do conhecimento.

3.4 Dificuldades de ensinar Óptica

No Ensino Médio, a Óptica costuma ser apresentada aos alunos como um truque de mágica onde o professor assume o papel de mágico, mostrando resultados obtidos por processos desconhecidos e desenvolvidos por pesquisadores distantes, enquanto espera que os alunos, como plateia, aceitem passivamente essas informações. Essa abordagem acaba por afastar os estudantes da disciplina, principalmente pela ausência de aplicações que elucidem o cotidiano. Nesta área especificamente, observa-se com frequência que os conteúdos são reduzidos a fórmulas e exercícios mecânicos, negligenciando as inúmeras aplicações cotidianas desses conceitos. Alguns autores dão uma parcela da culpa também aos docentes pelo ensino de baixo nível. Portanto

[...] cabe ao professor durante sua análise do livro didático que irá adotar como recurso auxiliar de ensino, analisar seu aspecto teórico-metodológico, ou seja, de forma específica verificar se este traz uma abordagem coerente do conteúdo científico teórico ou evidencia uma forte ênfase no aspecto abstrato,

não havendo uma preocupação em contextualizar tais conteúdos com situações próximas da vivência dos estudantes, sendo então tais conteúdos apresentados de uma forma superficial e fundamentalmente física (Santos, 2007, p. 15).

Essa adaptação metodológica revela-se essencial para estabelecer conexões entre os conceitos físicos e suas aplicações no mundo real. A dificuldade de compreensão manifestada pela maioria dos estudantes frequentemente decorre não da complexidade intrínseca da disciplina, mas sim de abordagens excessivamente abstratas e descontextualizadas, que reforçam a percepção da Física como conhecimento distante do cotidiano e de pouca utilidade prática.

A abordagem experimental representa o aspecto mais rico do estudo da Óptica, permitindo observar diretamente fenômenos como a interação de lentes com feixes luminosos, os efeitos da refração e os padrões de interferência. No entanto, depara-se com uma significativa dificuldade na implementação dessas atividades práticas, uma vez que apenas 38,8% das escolas públicas de ensino médio brasileiras possuem a infraestrutura necessária, conforme dados do CENSO Escolar (Brasil, 2019). Além da carência de recursos materiais, identifica-se outro obstáculo crucial: mesmo nas instituições que dispõem de laboratórios adequados, frequentemente faltam professores com formação específica para utilizar esses espaços de forma pedagogicamente eficaz. Essa deficiência na formação inicial de licenciados em Física resulta na subutilização dos equipamentos disponíveis.

4 ENSINO DE FÍSICA E APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

Nesta seção, discutiremos a Teoria da Aprendizagem significativa e como a mesma se aplica no ensino de física.

4.1 A Teoria de Ausubel

A Teoria de Ausubel tem como principal pilar a aprendizagem significativa, ou seja, aprender com significado. Segundo Ausubel (Agra *et al.*, 2019), as variáveis que mais influenciam para que se avance neste pilar são:

- Predisposição para aprender.

É muito improvável que o indivíduo consiga aprender significativamente em um ambiente que ele está inserido de forma forçada. O "querer aprender" é parte fundamental do processo de aprendizagem.

- Conhecimentos prévios (quando relevantes, são chamados de "subsunçores").

O aluno usará seus conhecimentos prévios como agente auxiliador na obtenção de novos conhecimentos.

Para Ausubel, esta é a variável mais influente, já que aprendemos a partir do que já sabemos. Todo o conhecimento construído no presente, de alguma forma, interage com o conhecimento obtido no passado.

Por exemplo, para captar o significado do que seja uma escola aberta devemos ter já construído um conceito de escola. Então, dando significado à escola aberta o subsunçor escola ficará mais rico, mais elaborado, mais estável, mais capaz de ajudar na captação do significado de outros tipos de escola. No entanto, se nosso conceito prévio de escola for muito rígido, inflexível, ele dificultará a captação do significado de escola aberta (Moreira, 2013, p. 6).

No caso em que a relação é construtiva, o conhecimento novo adquire significado para o indivíduo e o subsunçor fica mais rico, pois adquire novos significados. Em caso negativo, nada ocorrerá.

4.2 Aprendizagem significativa e Aprendizagem mecânica

A Aprendizagem mecânica é aquela baseada em memorização, nela o aluno não necessariamente atribui significado ao conteúdo, apenas memoriza-o e aprende a aplicá-lo mediante um contexto. No geral, a retenção do conteúdo é baixa, já que não há interação entre o novo conhecimento e os conhecimentos prévios. A longo prazo, este método não é nada efetivo, mas quando o foco são aprovações em provas (como o ENEM, vestibulares internos etc) o método se mostra eficaz, já que o aluno sabe como determinado assunto pode ser cobrado, assim podendo marcar a resposta correta, muitas vezes de forma automática.

Por mais que não pareça, a aprendizagem significativa pode ser atingida a partir da aprendizagem mecânica. Este evento se dá através de um processo chamado de "Ensino Potencialmente Significativo", nele o professor introduz ideias e estimula conexões com conhecimentos antigos mesmo na aprendizagem mecânica. Portanto, alguns alunos podem desenvolver uma aprendizagem significativa.

4.3 Organizadores prévios

Como construiu-se desde o início, a ideia central da aprendizagem significativa é o uso dos subsunçores. É muito fácil, no contexto do Ensino Médio, partir do pressuposto que o aluno tenha conhecimentos prévios de vida e de abordagens formais de alguns assuntos, já que a idade ideal para cursar o Ensino Médio é entre 15 e 17 anos. Porém, ao retornar alguns poucos anos, nos deparamos com uma questão paradoxal: uma criança, no primário, por exemplo, aprenderia como? Já que a mesma não tem os subsunçores necessários para obter de forma significativa outros conhecimentos. E mais ainda, como o mesmo aluno do Ensino Médio obteve seus conhecimentos que hoje são subsunçores?

Ausubel responde a essas dúvidas com o conceito de Organizadores Prévios. Estes servem tanto para quando o novo conhecimento foge totalmente dos conhecimentos do aluno (caso do aluno do primário) quanto para quando o novo conhecimento não é tão desconhecido (caso, geralmente, do aluno do Ensino Médio). Naturalmente, organizadores prévios não são gerais, ou seja, a abordagem ideal para um aluno não será necessariamente a abordagem ideal para outro.

4.4 Aplicações no ensino de física

Percebe-se que a aprendizagem significativa e a educação do ponto de vista da BNCC refletem faces diferentes de um mesmo empasse educacional: a BNCC diz o que deve ser feito e o Teoria de Ausubel diz como fazer. Através de uma aprendizagem significativa, o aluno desenvolverá seu intelecto e gerará conexões que não o auxiliarão apenas no âmbito da física, como também em suas vidas pessoais, o ajudando a enxergar padrões, pensar em soluções de problemas etc.

Segundo Moreira, 2013 (p. 38), "não existe matéria de ensino em que tudo seja igualmente importante. Há aspectos centrais, alguns intermediários e muitos específicos ou pouco relevantes". Por isso, de um imensidão de experimentos possíveis sobre óptica, para esse trabalho selecionamos 4 (2 de óptica geométrica e 2 de óptica física) que julgamos como bons Organizadores prévios para os alunos, ou seja, os assuntos mais relevantes e de cunho geral no ramo da óptica. Com eles, visamos gerar pontenciais subsunçores na estrutura cognitiva do aluno, estes irão servir como âncora para as aulas teóricas vindas posteriormente aos experimentos.

Desta forma, visa-se uma aprendizagem significativa baseada na construção dos experimentos, análise/discussão dos resultados observados, criação de hipóteses e eventuais correções do professor. Na prática, o professor irá apenas intermediar o encaminhamento dos experimentos e guiará os alunos para que os mesmos cheguem nas conclusões corretas dos resultados vistos experimentalmente.

5 EXPERIMENTOS PARA O ENSINO DE ÓTICA

5.1 Câmara escura

Sentados embaixo de uma árvora durante um eclipse parcial, podemos observar que ao passar pelas folhas, os raios de luz vindos do Sol projetam-se no chão formando imagens do Sol parcialmente coberto pela Lua. É possível verificar ainda que quanto menor for o espaço entre as folhas mais nítida e menos intensa a imagem será. Essa é uma propriedade interessante: quanto maior a nitidez, menor é a intensidade da luz.

O evento descrito se explica através de uma propriedade física da luz: propagação retilínea. Quando um objeto extenso (como é o caso do Sol) emite luz de seus diferentes pontos, um pequeno orifício é capaz de "selecionar" os raios que conseguirão formar a imagem novamente, mas de forma invertida.

Durante a modernidade, muitos artistas utilizaram a câmara escura como ferramenta de auxílio nas pinturas. Construindo pequenos quartos, com um orifício minúsculo apontado para onde está a referência da pintura, os pintores conseguiam traçar o desenho (de cabeça para baixo), remover o quadro da parede e pintá-lo de forma mais fiel. O principal artista europeu com esta prática era Johannes Vermeer (1632 - 1675), que ficou conhecido por sua retratação do cotidiano, com artes como *Vista de Delft* (1660) e *Moça com Brinco de Pérola* (1665). Com o passar do tempo e dos estudos, cientistas como Kepler já faziam uso de lentes e espelhos para traçar desenhos com mais precisão (Laar, 2025).

Na prática, todos esses avanços nos permitiram, ainda que de forma muito rudimentar, ter o que hoje chamamos de máquina fotográfica e tudo que envolve este mundo, desde "*Vista da Janela em Le Gras*" até os dias atuais (Oxford, n.d.). Por conta da importância teórica (e também histórica) deste aparelho, tentaremos reproduzi-lo em pequena escala, fazendo observações e medidas com base na teoria desenvolvida no Apêndice A.

5.1.1 Materiais

Todos os materiais que serão usados para realizar o experimento estão descritos na Tabela 4.

Tabela 4: Materiais para a construção da câmara escura.

Material	Quantidade
Lata	1
Folha de papel manteiga	1
Tesoura	1
Alfinete / Agulha / Parafuso	1
Tinta guache preta	1
Pincel	1

Fonte: o autor.

5.1.2 Montagem

Na Figura 4 temos as dimensões da lata escolhida para o experimento. Escolhemos a lata por ser mais rígida que as caixas de papelão comuns, fazendo com que o resultado final seja mais robusto e durável.

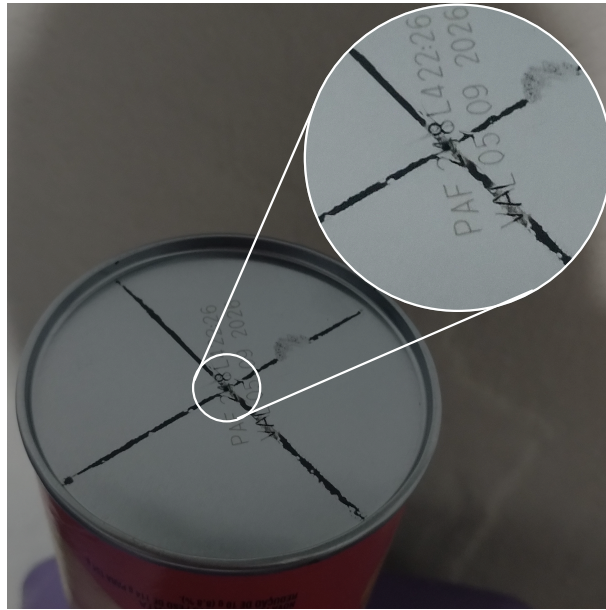
Figura 4: Dimensões da câmara.



Fonte: o autor.

Com o auxílio de uma canetinha e uma régua, podemos traçar duas retas no fundo da lata e descobrir o centro, como mostrado na Figura 5. No encontro das retas, com um prego, fazemos um pequeno orifício. Quanto maior o furo, menor será a resolução da imagem gerada na câmara, mas em compensação será mais fácil de vê-la. É preferível fazer um furo muito pequeno, pois assim podemos expandí-lo de acordo com a necessidade.

Figura 5: Furo no fundo da lata.



Fonte: o autor.

Com um pincel e tinta guache preta, pintamos toda a parte interna da lata, como é mostrado na Figura 6. Isso evita reflexões nas paredes da câmara, garantindo uma melhor resolução da imagem gerada. Após finalizar a pintura, é importante colocar o prego no furo novamente, provavelmente a tinta terá tampado o orifício.

Figura 6: Parte interna da lata pintada de preto.

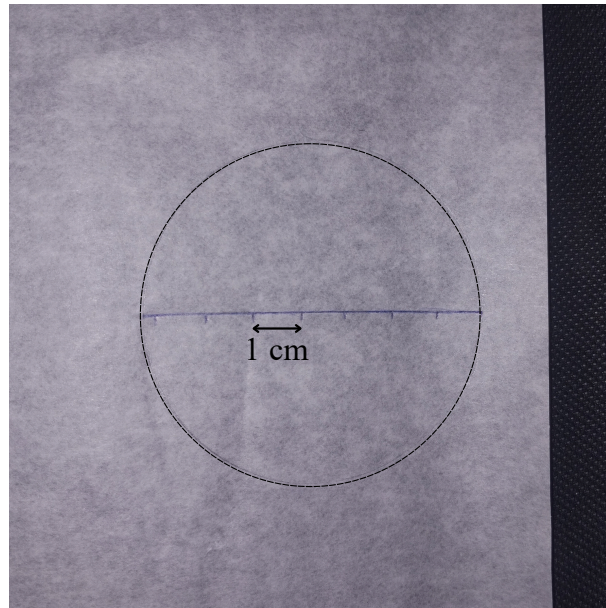


Fonte: o autor.

Para termos uma ideia da dimensão da imagem formada, podemos fazer uma escala no anteparo usado para a imagem tal qual foi feito na Figura 7. Pegamos a tampa da lata e passamos seu contorno para o papel manteiga. Com uma régua e caneta, dividimos o diâmetro da mesma em intervalos de 1 *cm*. O papel manteiga é ideal para esse experimento pois não é tão

transparente ao ponto de deixar luz entrar na câmara, mas não é tão opaco a ponto de impedi-la de sair (translúcido).

Figura 7: Escala para a visualização das imagens.



Fonte: o autor.

Com a tinta seca, colocamos a escala sobre a lata e fechamos com a tampa, deixando o papel manteiga bem esticado como está na Figura 8. Com o auxílio de uma tesoura, cortamos as rebarbas.

Figura 8: Câmara escura finalizada.



Fonte: o autor.

5.1.3 Observações

Uma das aplicações da câmara escura é visualizar fontes de luz. Por conta da alta sensibilidade dos nossos olhos, não podemos observar diretamente fontes de luz muito inten-

sas como a lâmpada da Figura 9. Porém, com a câmara escura construída, podemos vê-la na Figura 10.

Figura 9: Lâmpada com desenho.



Fonte: o autor.

Figura 10: Imagem do desenho formada na câmara.



Fonte: o autor.

5.2 Associação de espelhos planos

Ao acender uma vela em frente a um espelho, os raios luminosos divergentes emitidos pelo fogo da vela irão atingir o espelho, esse por sua vez refletirá esses raios com o mesmo ângulo que eles incidiram. Quando um observador passa a fazer parte da interação, os raios refletidos na superfície do espelho passarão a ser interpretados como raios de luz vindos de

dentro do espelho, o objeto que o emite terá o mesmo comprimento e distará o mesmo valor do espelho (Hewitt, 2002, p.471).

Quando temos apenas um espelho, o objeto formará apenas uma imagem. Porém, se adicionarmos outro espelho plano (mantendo apenas um objeto), formando um certo ângulo com o primeiro, quantas imagens teremos? Uma segunda dúvida que surge naturalmente é: o número de imagens formadas é fixo ou pode variar com o ângulo? O fato é que nesse tipo de situação, múltiplas imagens serão formadas, e mais ainda, a quantidade de imagens segue uma regra matemática que depende do ângulo entre os espelhos (Ribeiro, 2014, p.1).

Casualmente, a equação que rege o número de imagens (e as condições em que ela se aplica) é apenas dada e não provada de forma experimental. Nas próximas subseções, iremos nos dedicar a demonstrar experimentalmente essa lei e na Apêndice B à justificaremos teoricamente.

5.2.1 Materiais

Todos os materiais que serão usados para realizar o experimento estão descritos na Tabela 5.

Tabela 5: Materiais para a construção da associação de espelhos planos.

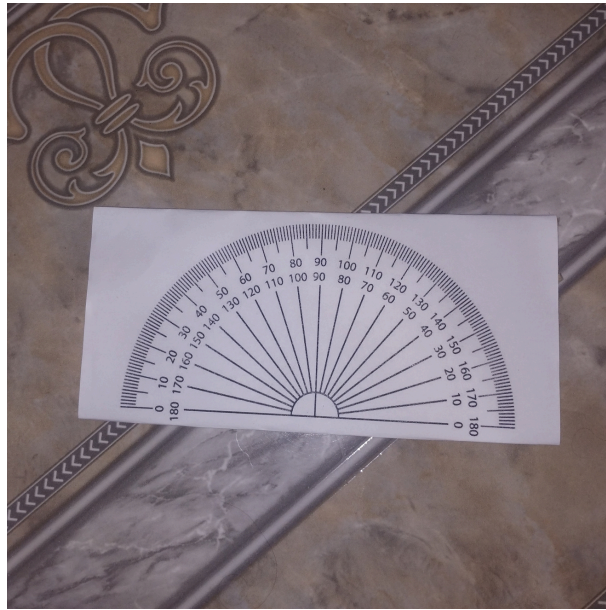
Material	Quantidade
Espelho plano	2
Estilete	1
Cola branca	1
Fita	1
Transferidor	1
Caixa de papelão	1
Objeto qualquer (um boneco no nosso caso)	1

Fonte: o autor.

5.2.2 Montagem

Recortamos um pedaço de papelão e colamos o transferidor impresso sobre ele como está na Figura 11. A imagem usada está disponível em: <https://www.istockphoto.com/br/vetor/transferidor-gm158196813-22404099>, acessado em 21 fev. de 2026.

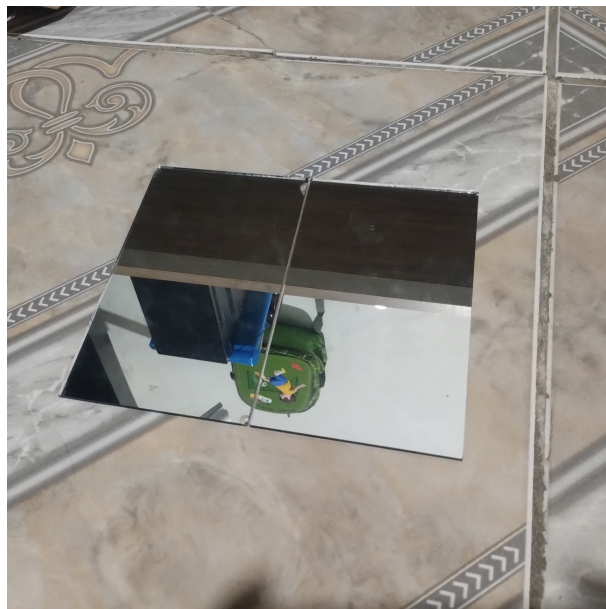
Figura 11: Transferidor impresso.



Fonte: o autor.

Separamos dois espelhos de mesmo tamanho, que estão mostrados na Figura 12. É interessante que os espelhos tenham mesmo tamanho para facilitar a associação e visualização das imagens.

Figura 12: Espelhos usados.



Fonte: o autor.

Encostamos as partes prateadas dos espelhos de tal forma que fosse possível ver apenas a parte de trás de ambos. Alinhamos eles entre si, e colocamos com fita como está mostrado na Figura 13. Fizemos isso para que fosse possível deixar os espelhos de pé sobre um ângulo fixo, tal qual mostramos na Figura 14, o que é crucial para o experimento.

Figura 13: Espelhos fixados.



Fonte: o autor.

Figura 14: Transferidor impresso.

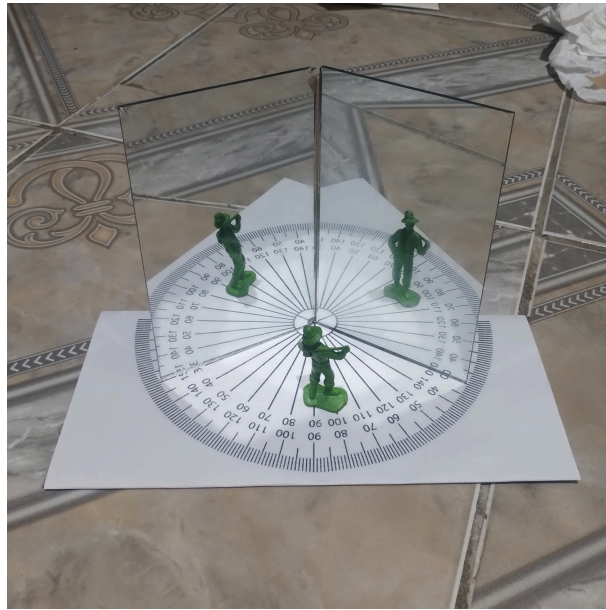


Fonte: o autor.

5.2.3 Observação

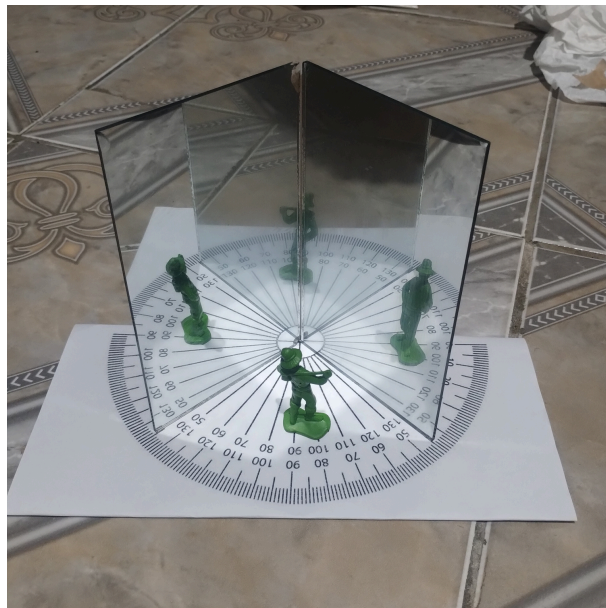
Fixando o objeto no centro do transferidor, podemos variar a mesma quantidade angular em cada espelho e ver o número de imagens que se formam. Nas Figuras 15, 16, 17, 18 e 19 podemos verificar a quantidade de imagens geradas pela associação dependerá exatamente do ângulo entre os espelhos.

Figura 15: 2 imagens geradas pela associação, com ângulo de 120° .



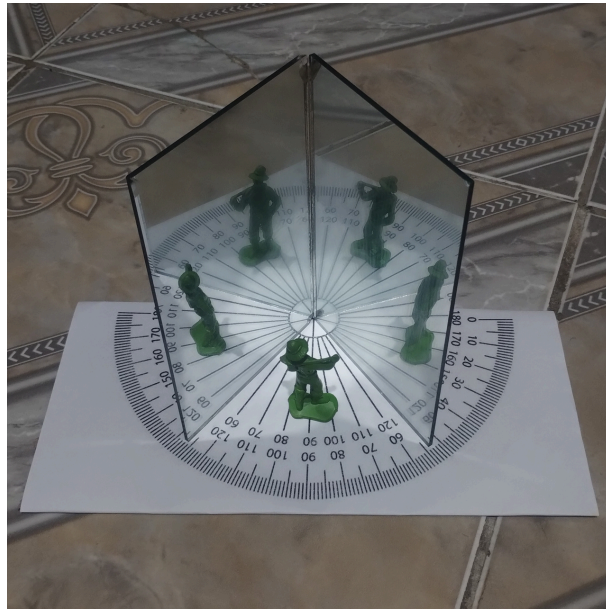
Fonte: o autor.

Figura 16: 3 imagens geradas pela associação, com ângulo de 90° .



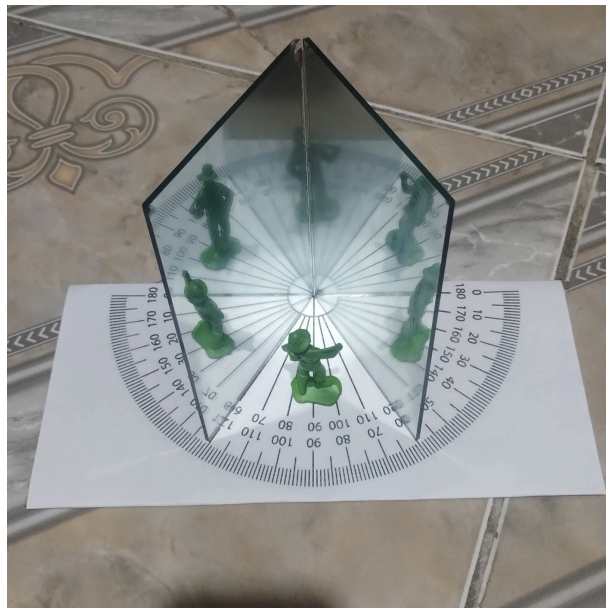
Fonte: o autor.

Figura 17: 4 imagens geradas pela associação, com ângulo de 70° .



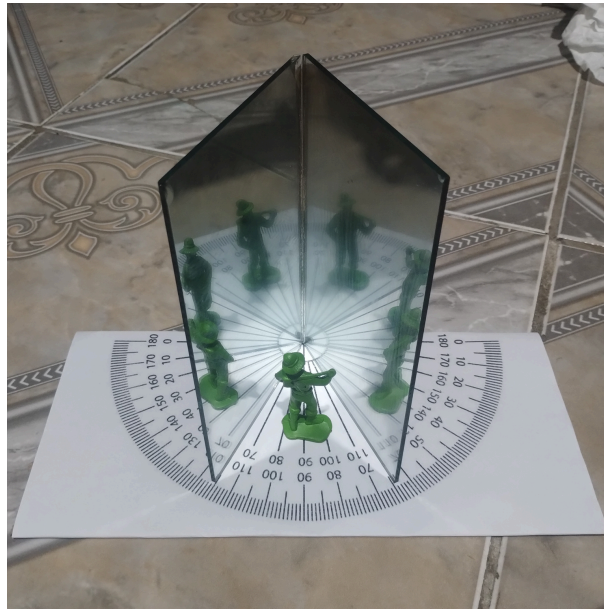
Fonte: o autor.

Figura 18: 5 imagens geradas pela associação, com ângulo de 60° .



Fonte: o autor.

Figura 19: 6 imagens geradas pela associação, com ângulo de 50° .



Fonte: o autor.

5.3 Espelho de Lloyd

O grande físico Isaac Newton defendia que a luz é formada por partículas, ou seja, os fenômenos experimentados pela luz são fenômenos corpusculares, como a colisão. Com isso, Newton explicava questões relacionadas à refração e reflexão. Graças ao sucesso de sua teoria da Gravitação, Newton já era um cientista muito respeitado na época, fazendo com que a teoria corpuscular da luz fosse muito bem aceita (Cavalcante; Rodrigues, 2012, p.4310).

Mais tarde, outra ideia surge: a luz enquanto onda. Huygens, principal cientista defensor da teoria, também conseguia explicar fenômenos de refração e reflexão com sua teoria. E como considerava a luz como uma onda, conseguia também explicar possíveis fenômenos ondulatórios que a luz sofresse, como interferência e difração (Cavalcante; Rodrigues, 2012, p.4310-2).

A história mostrou que, na verdade, ambos estavam corretos em suas afirmações: a luz é uma partícula e é uma onda (não ao mesmo tempo!). Experimentos como o Efeito Fotoelétrico mostram que a luz pode ser entendida como uma partícula (Silva, 2005, p.5). Mas também podemos provar facilmente que ela é uma onda com o experimento do Espelho de Lloyd, um fenômeno de interferência que só pode ser experimentado por ondas, onde o feixe emitido diretamente pela fonte se encontra com o feixe refletido pelo espelho e gera franjas escuras e claras no anteparo.

O experimento tratado na presente seção é muito interessante principalmente pelo fato de ser um efeito de óptica física, mas que pode ser explicado usando óptica geométrica, tornando a explicação teórica do experimento muito acessível (Catelli; Lazzari, 2004, p.20). Seu desenvolvimento matemático pode ser visto no Apêndice C.

5.3.1 Materiais

Todos os materiais que serão usados para realizar o experimento estão descritos na Tabela 6.

Tabela 6: Materiais para a construção do espelho de Lloyd.

Material	Quantidade
Laser vermelho	1
Pequeno espelho	1
Caixa de papelão	1
Tesoura	1
Folha sulfite	1

Fonte: o autor.

5.3.2 Montagem

Na Figura 20 temos uma caixa de sapatos com a tampa cortada. Uma folha de papel branca foi fixada em uma das laterais para servir de anteparo, facilitando a visualização das franjas de interferência.

Figura 20: Caixa cortada com anteparo.



Fonte: o autor.

Para o experimento, usamos uma caneta *laser* vermelha encontrada em lojas de acessórios como está mostrado na Figura 21. Dados específicos de potência e comprimento de onda não foram fornecidos pelo fabricante.

Figura 21: *Laser* vermelho utilizado.



Fonte: o autor.

Fizemos uma pequena fissura na caixa de sapatos para encaixar a caneta *laser* e posicionamos um espelho no centro da caixa como podemos ver na Figura 22. A distância vertical do *laser* até o espelho e a distância horizontal do *laser* até o anteparo são importantes, por isso foram destacadas na figura.

Figura 22: Experimento montado.



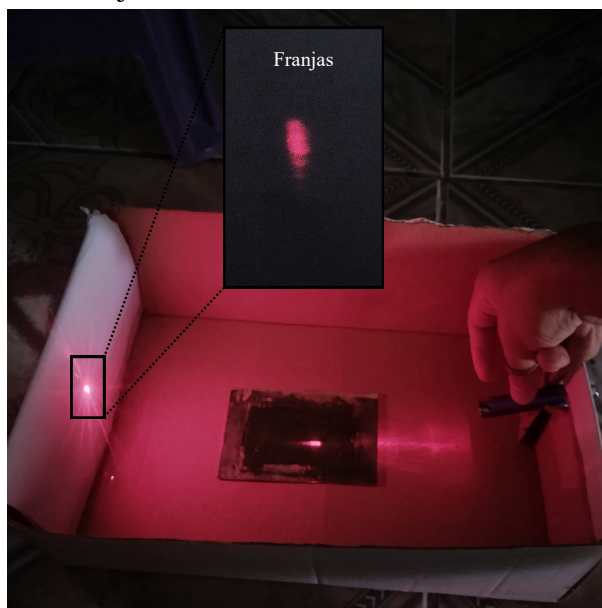
Fonte: o autor.

5.3.3 Observações

Na Figura 23, ligando o *laser*, é possível vermos pequenas fendas escuras no anteparo, essas são as franjas de interferência destrutivas. Se pensarmos na luz como um corpúsculo essas franjas **não** deveriam existir! Então, mostramos que de fato a luz tem comportamento on-

dulatório.

Figura 23: Visualização das franjas de interferência.



Fonte: o autor.

5.4 Espectroscópio

A Espectroscopia é o estudo da luz através das cores que a compõem, sendo possível analisar as propriedades físicas e químicas do corpo que a emitiu com base no que chamamos de "espectro". Através desta ciência, sabemos que o exoplaneta *K2-18b*, que está a 124 anos-luz de distância de nós⁹, tem uma atmosfera com hidrogênio, mesmo sem nunca termos pisado lá (Pappalardo, 2023).

A história da espectroscopia inicia-se no século XVII com os experimentos, novamente, de Isaac Newton. Em 1666 ele descobriu que a luz branca vinda do Sol, ao passar por um prisma de vidro, era decomposta em uma série de cores, a essa sequência de cores Newton deu o nome de "espectro". Com um segundo prisma após o primeiro, Newton mostrou ainda que as luzes não se "separavam" mais que aquilo, e que na verdade voltam a formar a luz branca. Provando assim que a luz branca é a mistura de todas as cores (Newton, 1996).

No início do século XIX, William Wollaston refinou o experimento de Newton usando uma fenda estreita e descobriu que o espectro solar continha uma série de linhas escuras (Wollaston, 1802). Mais tarde, o óptico Joseph von Fraunhofer estudou essas linhas detalhadamente, catalogou centenas delas e desenvolveu o primeiro espectroscópio, um instrumento que combinava uma fenda, uma lente e um prisma para observar o espectro com muito mais clareza. Ele até mesmo conseguiu medir o comprimento de onda de algumas dessas linhas.

A peça central para transformar a espectroscopia numa ferramenta química foi dada por Gustav Kirchhoff e Robert Bunsen, em 1859 (Kirchhoff; Bunsen, 1860). Eles propuseram que cada elemento químico emite e absorve luz em comprimentos de onda específicos, criando uma assinatura espectral única. Foi usando essa ideia que eles descobriram dois novos elementos, o cério e o rubídio, simplesmente ao observar novas linhas coloridas no espectro de uma

⁹Lembre-se que isto é a distância percorrida pela luz em 124 anos.

amostra. A espectroscopia provou ser tão poderosa que permitiu a descoberta do hélio no Sol, durante um eclipse solar, antes que fosse encontrado na Terra, inclusive por isso que o elemento ganhou esse nome, em homenagem ao deus Sol grego, Helius (Scherer, 2024).

A base teórica do experimento desta seção está descrita no Apêndice D.

5.4.1 Materiais

Todos os materiais que serão usados para realizar o experimento estão descritos na Tabela 7.

Tabela 7: Materiais para a construção do espectroscópio.

Material	Quantidade
Lata	1
DVD	1
Tesoura	1
Estilete	1
Rolo de fita	1
Papel alumínio	1
Tinta guache preta	1
Pincel	1

Fonte: o autor.

5.4.2 Montagem

Começamos pintando toda a parte interna da lata de preto, como é mostrado na Figura 24.

Figura 24: Lata pintada.



Fonte: o autor.

Com o auxílio de um estilete, removemos a parte de cima do DVD, isso deixará a parte prateada exposta, como podemos ver na Figura 25. Como também podemos ver nela,

devemos remover a parte prateada do DVD com fitas, a parte transparente do DVD que nos interessa. Lembre-se que nessa região estão as fendas do DVD, elas que servirão como rede de difração.

Figura 25: Removendo as películas do DVD.



Fonte: o autor.

Após higienizar a região com algodão e álcool, retortaremos a área do DVD que será usada. No nosso caso, um pouco menos de $\frac{1}{4}$ da área total já será suficiente. A região que usaremos é a que está pontilhada na Figura 26.

Figura 26: DVD limpo.



Fonte: o autor.

Na Figura 27 mostramos a parte cortada do DVD.

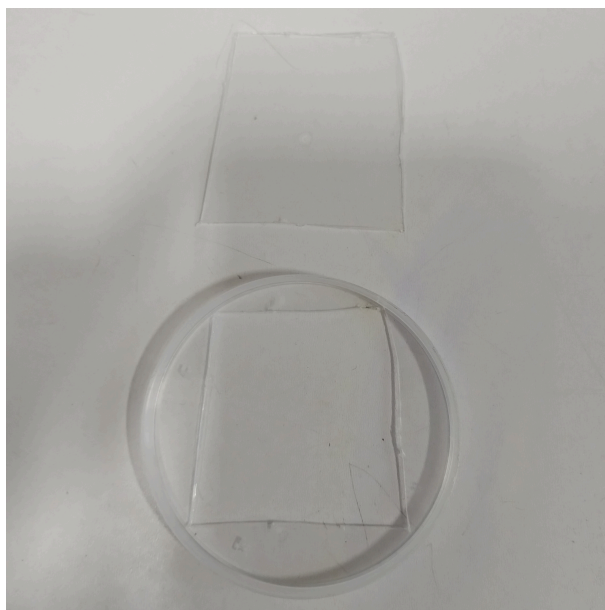
Figura 27: Rede de difração que será usada no experimento.



Fonte: o autor.

Cortamos a tampa da lata num formato quadrilátero para colocar o DVD. Mostramos como a mesma ficou na Figura 28.

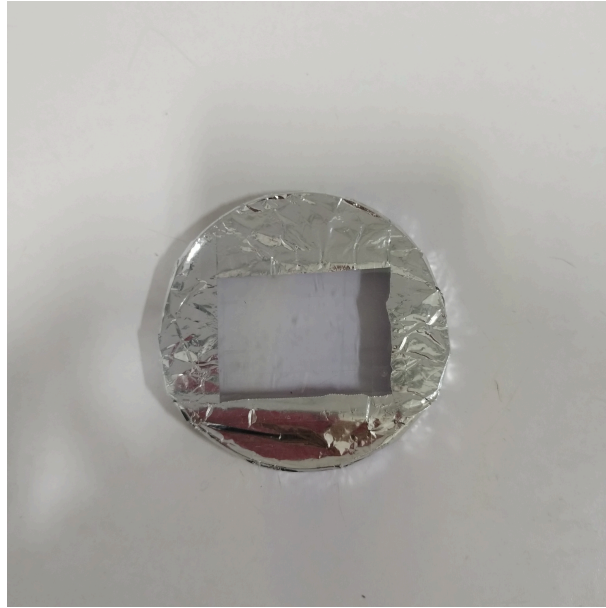
Figura 28: Tampa da lata cortada.



Fonte: o autor.

Fixamos o DVD no buraco da tampa com fita e tampamos as partes que sobram com papel alumínio, isso é feito para evitar que muita luz entre dentro do espectroscópio e atrapalhe a visualização. Na Figura 29 mostramos como a tampa deve ficar.

Figura 29: Tapa montada.



Fonte: o autor.

Como queremos ver um espectro de cores (ou de apenas uma cor, no caso de feixes monocromáticos), fazemos no fundo da lata uma fenda fina. Quanto mais fina, mais definido o espectro será, porém teremos uma baixa intensidade, vide a pouca luz que passará pela rede de difração. O ideal é fazer uma fenda bem fina, como na Figura 30, sendo assim, caso seja preciso, aumentamos seu tamanho.

Figura 30: Fenda no fundo da lata.



Fonte: o autor.

Na Figura 31 temos o resultado final do espectroscópio.

Figura 31: Espectroscópio pronto.

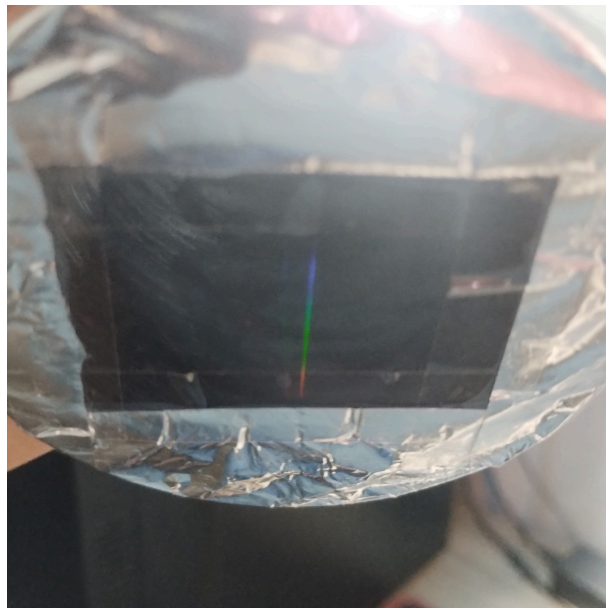


Fonte: o autor.

5.4.3 Observações

O principal uso de um espectroscópio é analisar a composição de diferentes fontes, vendo quais cores são emitidas e, inclusive, quanto do espectro é pertencente a cada cor. Verificando o espectro de uma lâmpada LED branca (a mesma da Figura 9), obtemos o que é mostrado na Figura 32. Como era de se esperar, vemos um espectro contínuo que contém todas as cores do espectro visível, assim como provou Newton com o prisma espalhando a luz branca passando por uma fenda.

Figura 32: Espectro de lâmpada LED.



Fonte: o autor.

6 CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS

No presente trabalho propusemos um total de 4 experimentos de óptica de baixo custo visando englobar, de forma geral, todo o conteúdo de óptica do ensino médio, sendo: câmara escura, associação de espelhos planos, espelho de Lloyd e espectroscópio. Portanto os dois primeiros são referentes à primeira parte da disciplina (óptica geométrica) e os últimos à segunda parte (óptica física). Com a realização dos experimentos, buscamos verificar a facilidade de montagem e a utilidade dos mesmos em explicar aquilo que se propõem, sempre tomando como principal objetivo o desenvolvimento das Competências e Habilidades dos PCNs (Tabela 1) e da BNCC (Tabela 3) que nos norteiam nos objetivos pedagógicos do ensino.

Todos os experimentos se provaram de simples montagem, sem muitos problemas durante a realização. No geral, os materiais usados também são facilmente encontrados, com exceção do *laser* usado no experimento de espelho de Lloyd que muito provavelmente deverá ser comprado para a realização do experimento. No mais, usamos apenas latas de salgadinhos, régua, tesoura, espelhos etc. O experimento da câmara escura pode ser melhorado adicionando-se uma cartolina preta em torno do papel manteiga, assim a região onde a imagem é formada ficará mais escura e a visualização será mais fácil. O experimento referente ao Espelho de Lloyd pode ser melhorado construindo um suporte para a caneta *laser*, pois fazendo apenas um orifício para ela dificulta-se a mobilidade do experimento. Por fim, o espectroscópio não é capaz de resolver as linhas de absorção das lâmpadas por conta de sua baixa resolução causada pela fenda muito larga, talvez isso possa ser resolvido fazendo uma fenda extremamente fina, mas não é certeza, pois a rede de difração usada (DVD) também é muito simples.

No experimento de câmara escura conseguimos visualizar um desenho na superfície de uma lâmpada acesa. Assim podemos verificar a propagação retilínea dos raios de luz e a formação de imagens reais no anteparo. A imagem ainda forma-se de cabeça para baixo, provando que o raio de luz "emitido no topo do desenho" deve passar pelo orifício na diagonal para chegar no anteparo (papel manteiga).

Realizando o experimento de associação de espelhos planos, conseguimos encontrar 5 ângulos em que o número de imagens nítidas formadas eram valores inteiros. Com o experimento, vimos que há uma dependência entre o número de imagens e o ângulo entre os espelhos, e o mais interessante é que essa dependência é inversamente proporcional, já que quanto menor é o ângulo, maior é o número de imagens.

Contruindo o experimento do Espelho de Lloyd mostramos que com uma fonte real e uma imaginária (criada por um espelho plano a partir da primeira fonte) podemos gerar franjas de interferência construtiva e destrutiva, ou seja, riscos claros e escuros. Provando assim que a luz pode ser vista também como uma onda, já que esse é um efeito experimentado apenas por ondas.

Com o espectroscópio conseguimos decompor a luz branca (a mesma usada no primeiro experimento para visualizar o desenho) em todo seu espectro de cores. Então conseguimos recuperar o resultado de Newton com o prisma, mas com uma rede de difração feita de DVD e mostrar que a luz branca é composta por um longo espectro de cores que vai de vermelho até violeta.

Como perspectivas futuras, poderíamos elaborar outros experimentos que envolvessem óptica com temas como Lentes e Polarização e roteiros de prática experimental que instigassem a investigação do aluno com perguntas. Quando possível, como no caso da câmara escura e associação de espelhos planos, perguntas de cunho qualitativo são bem-vindas. Essas servem, inclusive, para introduzir o aluno ao mundo experimental mais prático: realizando medidas e lidando com erros de medição. Também podemos aplicar efetivamente os experimentos em sala de aula e verificar o desempenho prático dos alunos, desde montagem até utilização e obtenção de dados.

REFERÊNCIAS

- ABIB, M. L. V. d. S.; ARAÚJO, M. S. T. d. Atividades Experimentais no Ensino de Física: Diferentes Enfoques, Diferentes Finalidades. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 25, p. 176 – 191, 2003.
- ABRIL, O. L. C.; NARDI, R. Os objetos de estudo da pesquisa em ensino de física segundo pesquisadores brasileiros. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 17, p. 414 – 433, 2015.
- AGRA, G.; FORMIGA, N. S.; OLIVEIRA, P. S. d.; COSTA, M. M. L.; FERNANDES, M. d. G. M.; NOBREGA, M. M. L. d. Análise do conceito de Aprendizagem Significativa à luz da Teoria de Ausubel. **Revista Brasileira de Enfermagem**, SciELO Brasil, v. 72, n. 1, p. 248–255, 2019.
- ALMEIDA, M. d.; BARROSO, M.; MAGALHÃES, S. **Introdução às Ciências Físicas: Módulo 1**. 3. ed. [S. l.]: Fundação CECIERJ, 2002. v. 1.
- AUSUBEL, D. P. **Educational psychology: A cognitive view**. [S. l.]: Holt, Rinehart and Winston, 1986.
- BRASIL. **Parâmetros Curriculares Nacionais. Parte III - Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias**. [S. l.]: Ministério da Educação, Secretaria de Educação Média e Tecnológica, 1999.
- BRASIL. **Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias: Orientações educacionais complementares aos parâmetros curriculares nacionais**. [S. l.]: Ministério da Educação, Secretaria de Educação Média e Tecnológica, 2002.
- BRASIL. **Base Nacional Comum Curricular**. [S. l.]: Ministério da Educação, Secretaria de Educação Média e Tecnológica, 2018.
- BRASIL. **DADOS DO CENSO ESCOLAR – Noventa e cinco por cento das escolas de ensino médio têm acesso à internet, mas apenas 44% têm laboratório de ciências**. 2019. Disponível em: <https://www.gov.br/inep/pt-br/centrais-de-conteudo/noticias/censo-escolar/dados-do-censo-escolar--noventa-e-cinco-por-cento-das-escolas-de-ensino-medio-tem-acesso-a-internet-mas-apenas-44-tem-laboratorio-de-ciencias>. Acesso em: 10 jun. de 2025.
- CATELLI, F.; LAZZARI, F. Interferência da Luz: Uma versão simplificada do espelho de Lloyd. **Sociedade Brasileira de Física**, v. 5, n. 1, p. 20–22, 2004.
- CAVALCANTE, M. d. A.; RODRIGUES, E. d. S. Uso do “espelho de Lloyd” como método de ensino de óptica no Ensino Médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 34, n. 4, p. 4301, 2012.

G1. **Corte de gastos: Educação perde R\$ 42,3 bilhões até 2030; alvo são verbas para ensino integral.** 2024. Disponível em: <https://g1.globo.com/economia/noticia/2024/11/29/corte-de-gastos-educacao-perde-r-423-bilhoes-ate-2030-alvo-sao-verbas-para-ensino-integral.ghtml>. Acesso em: 05 jun. de 2025.

HEWITT, P. G. **Física conceitual**. 9. ed. Porto Alegre: Bookman, 2002. 685 p. Il. ; 28 cm. ISBN 85-363-0040-X.

KIRCHHOFF, G. R.; BUNSEN, R. W. Chemische Analyse durch Spectralbeobachtungen. **Annalen der Physik und Chemie**, v. 110, p. 161–189, 1860. Em alemão; Título em português: Análise química por observação espectral.

LAAR, P. J. van. **Illuminating the Obscure: The Relationship between Vermeer's Works and Seventeenth-Century Optical Developments**. Thames & Hudson, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.17863/CAM.118271>.

MOREIRA, M. **Aprendizagem significativa em mapas conceituais 1 (Meaningful learning in concept maps)**. 2013. Disponível em: <http://moreira.if.ufrgs.br/apsigmapasport.pdf>. Acesso em: 15 jun. de 2025.

NEWTON, I. **Óptica**. São Paulo, SP: Edusp, 1996. 293 p. Introdução de André Koch Torres Assis. Notas de André Koch Torres Assis. ISBN 8531403405.

OXFORD. **Camera obscura**. n.d. Disponível em: <https://www.mhs.ox.ac.uk/camera-obscura/>. Acesso em: 04 fev. 2026.

PAPPALARDO, J. **Este planeta acaba de se tornar um dos mais prováveis a ter vida extraterrestre**. 2023. Artigo da National Geographic Brasil sobre o exoplaneta K2-18 b. Publicado em 22 de setembro de 2023. Disponível em: <https://www.nationalgeographicbrasil.com/espaco/2023/09/este-planeta-acaba-de-se-tornar-um-dos-mais-provaveis-a-ter-vida-extra-terrestre>. Acesso em: 3 fev. de 2026.

RIBEIRO, J. L. P. Construção geométrica e demonstração experimental da formação da “imagem ciclópica” em uma associação de dois espelhos planos. **Pesquisa em Ensino de Física**, 2014.

RIBEIRO, J. L. P.; VERDEAUX, M. D. F. D. S. Atividades experimentais no ensino de óptica: Uma revisão. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 34, 2012.

SANTOS, M. d. **O Ensino de Física em Escolas Públicas**. 2007. Disponível em: <https://biblioteca.uems.br/publicos/download/29751#page=26.47>. Acesso em: 10 jun. de 2025.

SCHERER, S. **Helium first discovered during 1868 eclipse; The element later developed by 20th century chemist, Purdue science leader**. 2024. Disponível em: <https://www.chem.purdue.edu/history/helium.html>. Acesso em: 04 fev. 2026.

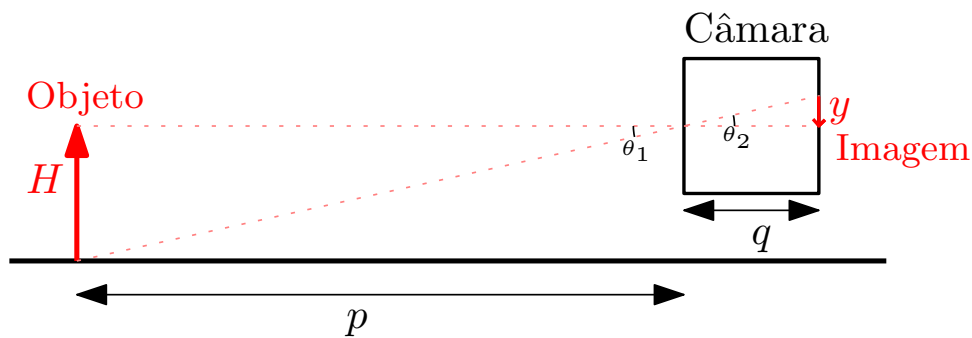
SILVA, E. A. P. da. **O Efeito Fotoeletrico**. [S. l.], 2005. Disponível em: <https://pantheon.ufrj.br/bitstream/11422/3097/4/EAPSilva.pdf>. Acesso em: 03 fev. 2026.

WOLLASTON, W. H. XII. A method of examining refractive and dispersive powers, by prismatic reflection. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London**, v. 92, p. 365–380, 1802. Article number: XII.

APÊNDICE A – TEORIA PARA O EXPERIMENTO DA CÂMARA ESCURA

Imaginando que saia um feixe dos pontos mais alto e mais baixo do nosso objeto, e que propagam-se em linha reta, podemos entender o funcionamento teórico da câmara escura. Para que sejam visualizados dentro da câmara, devem passar pelo único orifício da câmara. Com isso, montamos o diagrama da Figura 33.

Figura 33: Diagrama da Câmara escura.



Fonte: o autor.

Como θ_1 e θ_2 são ângulos opostos pelo vértice, são iguais entre si. Então tem-se que:

$$\operatorname{tg}(\theta_1) = \operatorname{tg}(\theta_2) \Rightarrow \frac{H}{p} = \frac{y}{q} \Rightarrow H = \frac{y}{q} \cdot p \quad (\text{A.1})$$

Portanto, sabendo a distância que estamos do objeto, podemos calcular sua altura com base na altura de sua imagem.

Por conta da propagação retilínea dos raios, a imagem formada na caixa é invertida em relação ao objeto real.

APÊNDICE B – TEORIA PARA O EXPERIMENTO DA ASSOCIAÇÃO DE ESPELHOS PLANOS

Você já deve ter percebido que quando colocamos dois espelhos planos frente a frente (paralelos) o número de imagens geradas é infinito, e quando vamos aumentando o ângulo entre eles (que, quando estão paralelos, é 0°), o valor de imagens diminui. A regra para o número de imagens geradas pela associação é a Equação B.1.

$$N = \frac{360^\circ}{\alpha} - 1 \quad (\text{B.1})$$

A equação respeita nosso caso limite para quando os espelhos são paralelos, então teoricamente faz sentido.

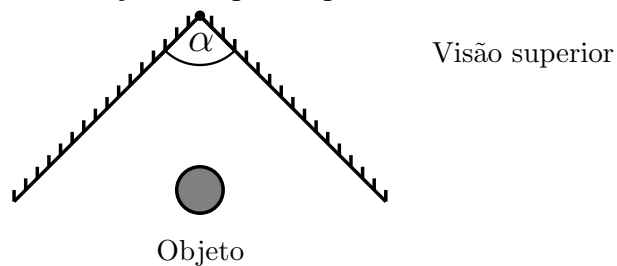
$$\lim_{\alpha \rightarrow 0^\circ} N = \infty \quad (\text{B.2})$$

E também respeita a condição em que os dois espelhos estão sobre a mesma reta, ou seja, quando o ângulo entre eles é de 180° .

$$\lim_{\alpha \rightarrow 180^\circ} N = 2 - 1 = 1 \quad (\text{B.3})$$

Agora nos resta entender a equação, e a geometria nos ajudará muito nisso. O que queremos é descobrir uma equação que nos diga quantas imagens serão formadas pela associação de espelhos da Figura 34.

Figura 34: Diagrama da associação de espelhos planos.

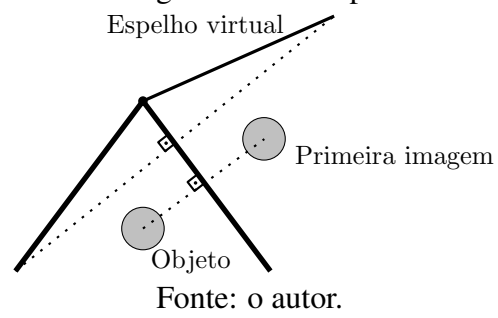


Fonte: o autor.

Por mais estranha que a equação possa parecer, a prova dela esbarra exatamente na propriedade fundamental dos espelhos planos: a distância da imagem à superfície do espelho é igual a distância do objeto à superfície. Cada espelho plano irá ter sua imagem projetada "dentro" do outro, caso $\frac{360^\circ}{\alpha}$ seja um número inteiro n , então teremos um total de n áreas como as da Figura 35. Caso tenhamos um objeto posicionado em $\frac{\alpha}{2}$, então, consequentemente, iremos ver n objetos iguais, sendo que 1 é o real, não uma imagem.

As áreas 1, 2, ... serão idênticas quando n for inteiro. Quando não, teremos um número inteiro de áreas completas e um pedaço de área incompleto, indicando que o valor n não é inteiro, ou seja, 360° não é múltiplo de α .

Figura 35: Diagrama do número de imagens formadas pela associação.



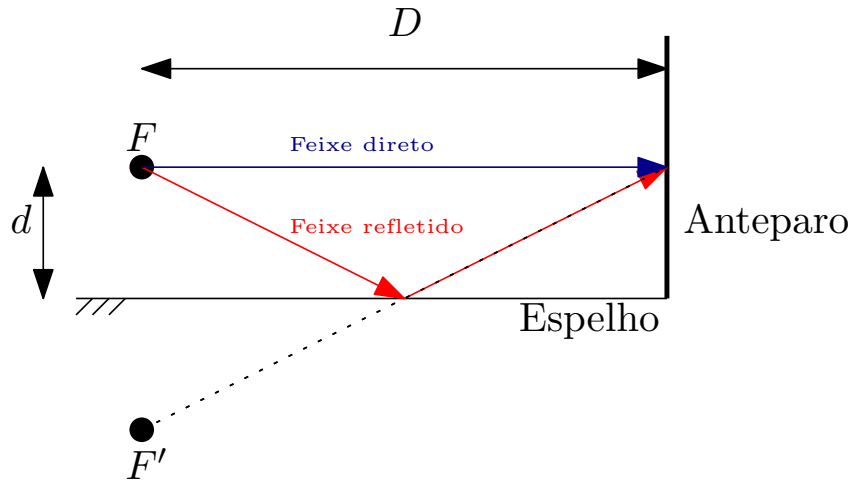
APÊNDICE C – TEORIA PARA O EXPERIMENTO DO ESPELHO DE LLOYD

Com a presença do espelho horizontal, teremos o surgimento de um objeto virtual que funcionará como uma segunda fonte de luz primária. Como as fontes emitem luz com mesma frequência, elas são coerentes, e a diferença de caminho até o anteparo implicará no surgimento de franjas de interferência. Essas franjas aparecerão como riscos claros e escuros no anteparo, e indicam exatamente as interferências construtivas e destrutivas, respectivamente.

As interferências construtivas ocorrem quando há o encontro de dois picos ou dois vales. Por outro lado, as destrutivas ocorrem quando há o encontro de um pico com um vale, resultando em uma onda sem amplitude. Para que essa explicação faça sentido, devemos considerar a luz como uma onda, por isso entramos no contexto da óptica física.

Para que o efeito seja compreendido melhor, podemos observar o diagrama da Figura 36. Perceba que para o fenômeno de interferência ocorrer é necessário que o feixe que sai diretamente da fonte (feixe direto) e o feixe que reflete na superfície do espelho (feixe refletido), e gera a fonte virtual de luz, se encontrem em um ponto do anteparo.

Figura 36: Diagrama do espelho de Lloyd.



Fonte: o autor.

A distância da fonte F até o ponto no anteparo é:

$$d_F = \sqrt{D^2 + (y - d)^2} \quad (\text{C.1})$$

Para a fonte F' teremos algo semelhante:

$$d_{F'} = \sqrt{D^2 + (y + d)^2} \quad (\text{C.2})$$

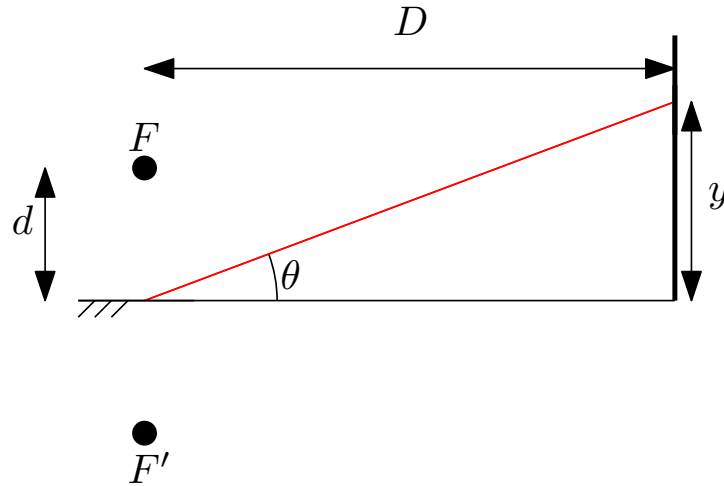
A franja ser escura ou clara depende do valor da diferença das distâncias, se for um múltiplo do comprimento de onda, a franja é escura, e consequentemente será clara quando for

meio múltiplo do comprimento de onda¹⁰.

Quando a distância d é muito menor que D , como pode ser observado na Figura 37, temos a Equação C.3.

$$\Delta d = d_F - d'_F = 2.d.\text{sen}(\theta) \quad (\text{C.3})$$

Figura 37: Diagrama do espelho de Lloyd com os comprimentos importantes.



Fonte: o autor.

Para que a franja seja clara, devemos ter a diferença de caminho óptico igual a um meio múltiplo do comprimento de onda do laser, ou seja, podemos determinar matematicamente a altura das franjas claras de interferência.

$$2.d.\text{sen}(\theta) = \left(m + \frac{1}{2}\right).\lambda \quad (\text{C.4})$$

Outra aproximação que fazemos é que $y \ll D$. Por isso, obtemos a Equação C.5.

$$2.d.\frac{y}{D} = \left(m + \frac{1}{2}\right).\lambda \Rightarrow y_m = \frac{D.\lambda}{2.d} \cdot \left(m + \frac{1}{2}\right) \quad (\text{C.5})$$

Perceba que a distância entre as franjas adjacentes tem um valor fixo que pode ser medido experimentalmente. Se pegarmos uma franja de índice $m + 1$ e outra de índice m , a distância entre elas nos permitirá calcular o comprimento de onda com a Equação C.6.

$$R = y_{m+1} - y_m = \frac{D.\lambda}{2.d} \cdot \left((m+1) + \frac{1}{2}\right) - \frac{D.\lambda}{2.d} \cdot \left(m + \frac{1}{2}\right) = \frac{D.\lambda}{2.d}$$

$$\lambda = \frac{2.d.R}{D} \quad (\text{C.6})$$

¹⁰Isso ocorre porque a fase da onda muda quando refletida no espelho.

APÊNDICE D – TEORIA PARA O EXPERIMENTO DO ESPECTROSCÓPIO

A principal ideia de um espectroscópio é colimar o feixe (tornar o feixe inicialmente disperso em um feixe fino) e fazê-lo passar por uma rede de difração, tornando possível visualizar as cores que compõem aquele feixe colimado, como na Figura 38. A matemática por trás desses equipamentos é complexa, então nos prenderemos a explicar teoricamente o que ocorre.

Figura 38: Diagrama do espectroscópio.



Fonte: o autor.

Uma rede de difração é uma superfície com uma série de ranhuras ou fendas extremamente próximas umas das outras. A função dela é interferir com a luz, espalhando-a.

Um *DVD* é uma rede de difração perfeita para experimentos simples. A superfície prateada de um *DVD* contém trilhas microscópicas de dados. Essas trilhas, dispostas em espiral, estão tão próximas umas das outras (cerca de 740 nm de distância) que funcionam como uma série de fendas paralelas. Quando a luz atinge essa superfície, ela não é simplesmente refletida; ela é difratada.

Quando a luz encontra um obstáculo ou uma fenda com tamanho comparável ao seu comprimento de onda, ela se espalha. Na rede de difração do *DVD*, a luz passa pelas fendas (ou é refletida por elas) e se espalha, pois o tamanho das fendas é da mesma ordem do comprimento de onda da luz visível.

Com o experimento, podemos observar 3 tipos de espectros:

1. Espectro contínuo: um arco-íris suave e ininterrupto do vermelho ao violeta. Isso acontece porque o filamento quente emite luz em todos os comprimentos de onda (Exemplo: lâmpada incandescente);
2. Espectro de emissão: uma série de linhas coloridas brilhantes sobre um fundo escuro. Cada linha corresponde a um elemento químico específico (Exemplo: lâmpada fluorescente);
3. Espectro de absorção: um arco-íris com várias linhas escuras cruzando-o. Essas linhas são as "impressões digitais" dos elementos químicos, que absorvem cores específicas da luz que é emitida pelo emissor (Exemplo: luz do Sol).

Estes espectros estão intimamente associados à interação da matéria com os fótons (partículas que formam a luz), que são processos descritos por uma matemática mais sofisticada.