



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS**  
**DEPARTAMENTO DE FÍSICA**  
**MESTRADO PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA**

**RODRIGO LINS MENDES LOBO**

**O BANCO ÓPTICO COMO FERRAMENTA LÚDICA PARA O ENSINO DE**  
**ÓPTICA GEOMÉTRICA**

**FORTALEZA**

**2021**

RODRIGO LINS MENDES LOBO

O BANCO ÓPTICO COMO FERRAMENTA LÚDICA PARA O ENSINO DE ÓPTICA  
GEOMÉTRICA

Dissertação apresentado ao Programa de Pós-Graduação de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Prof. Dr. Marcos Antônio Araújo Silva

FORTALEZA

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

- L785b Lobo, Rodrigo Lins Mendes.  
O banco óptico como ferramenta lúdica para o ensino de óptica geométrica / Rodrigo Lins Mendes Lobo.  
– 2021.  
156 f. : il. color.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Mestrado Nacional  
Profissional em Ensino de Física, Fortaleza, 2021.  
Orientação: Prof. Dr. Marcos Antônio Araújo Silva.
1. Ensino de física. 2. Óptica geométrica. 3. Banco óptico. 4. Experimentos. I. Título.

CDD 530.07

---

RODRIGO LINS MENDES LOBO

O BANCO ÓPTICO COMO FERRAMENTA LÚDICA PARA O ENSINO DE ÓPTICA  
GEOMÉTRICA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Aprovado em: 26 de março de 2021

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Marcos Antônio Araújo Silva - UFC  
(Orientador)

---

Prof. Dr. Nildo Loiola Dias - UFC

---

Prof. Dr. Édson Firmino Viana de Carvalho - UFMA

Aos três maiores guerreiros que já conheci:  
Meu pai e meus dois irmãos.

## **AGRADECIMENTOS**

À minha querida esposa, Nathália Cabral Lima Lins, pelo apoio e pela ajuda em todas as horas.

À minha filha querida, Giovanna Cabral Lima Lins, por me proporcionar os melhores momentos da minha vida.

Ao meu pai, José Mendes Lobo, por toda educação e orientação que ele me proporcionou.

Aos meus fieis irmãos Alexandre Lins Mendes Lobo e Gustavo Lins Mendes Lobo, pelos conselhos ao longo dessa árdua caminhada.

Ao meu valoroso amigo Egnaldo Pinheiro Vidal Júnior pela paciência, pela ajuda e por todos os seus valorosos conselhos.

Ao meu orientador prof. Dr. Marcos Antônio Araújo Silva pela importante orientação acadêmica.

Ao meu grande amigo de curso e de vida Diego Veloso Silva pelos vários momentos agradáveis na graduação e nesse mestrado nas mais diversas situações.

À Universidade Federal do Ceará pela oportunidade de ingresso em um curso de pós-graduação.

À Coordenação Pedagógica do Colégio Ari de Sá Cavalcante em Fortaleza (CE) por seu apoio e por permitir a aplicação do Produto Educacional.

À Sociedade Brasileira de Física (SBF) pelo apoio ao curso.

Ao Programa Nacional de Mestrado Profissional em Ensino de Física (MNPEF) pela oportunidade de continuar a estudar sobre algo que tanto aprecio.

À CAPES pelo financiamento parcial deste trabalho (processo 001).

“Tudo é energia e isso é tudo o que há. Sintonize a frequência que você deseja e, inevitavelmente, essa é a realidade que você terá. Não tem como ser diferente. Isso não é filosofia, é Física”.

(Albert Einstein)

## RESUMO

Certamente, o maior desafio enfrentado por todos os professores de Física da atualidade e de antigamente é fazer com que os alunos tenham uma simpatia pelos conteúdos de Física. Nesse contexto, é essencial o professor deixar de lado as aulas exclusivamente tradicionais com o quadro e pincel e se reinventar, para mostrar ao discente o quão belo é o estudo de Física. Para que isso ocorra de forma lúdica, este trabalho propõe aos professores a utilização de um banco óptico de baixo custo para auxiliar no aprendizado significativo do conteúdo de Óptica Geométrica ao ensino médio. Esse banco óptico servirá como um material de apoio ao corpo docente para poder levar à sala de aula um pouco da prática, deixando assim a aula mais dinâmica, interessante e com a participação dos alunos de tal modo, que eles irão levantar questionamentos de como e o porquê que àquele fenômeno está ocorrendo. Ele foi aplicado no colégio Ari de Sá Cavalcante, em Fortaleza – Ce, e pode ser percebido a evolução dos alunos após a aplicação do banco, tanto na compreensão do conteúdo, quanto na participação ativa das aulas de Física, questionando o professor, sempre em busca da aprendizagem significativa. No banco óptico proposto, há 6 experimentos voltados para o ensino dos vários conteúdos da Óptica Geométrica, dentre os quais pode-se destacar: cor de um objeto, dispersão da luz branca, princípio de propagação retilínea da luz, reflexão luminosa, polarização e o estudo das lentes esféricas.

**Palavras-chaves:** Ensino de física. Óptica geométrica. Banco óptico. Experimentos.



## **ABSTRACT**

Certainly, the biggest challenge faced by all physics teachers today and in the past is to make students have a sympathy for the contents of Physics. In this context, it is essential for the teacher to leave aside exclusively traditional classes with the blackboard and brush and reinvent himself, to show the student how beautiful the study of Physics is. For this to happen in a playful way, this work proposes to the teachers the use of a low cost optical bank to assist in the significant learning of the content of Geometric Optics to high school. This optical bench will serve as a support material for the teaching staff to be able to take some practice to the classroom, thus making the class more dynamic, interesting and with the participation of students in such a way, that they will raise questions about how and why that phenomenon is occurring. It was applied at the Ari de Sá Cavalcante, in Fortaleza – Ce, and the evolution of students after the application of the bank can be noticed, both in the understanding of the content and in the active participation of the Physics classes questioning the teacher, always in pursuit of meaningful learning. In the proposed optical bank, there are 6 experiments aimed at teaching the various contents of Geometric Optics, among which we can highlight: color of an object, dispersion of white light, principle of rectilinear propagation of light, luminous reflection, polarization and the study of spherical lenses.

**Keywords:** Physics teaching. Geometric optics. Optical bench. Experiments.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Campo magnético oscilante induzindo campo elétrico oscilante perpendicular.
- Figura 2 - Campo elétrico oscilante induzindo campo magnético oscilante perpendicular.
- Figura 3 - Lupa como lente convergente.
- Figura 4 - Semáforo como feixe divergente.
- Figura 5 - Canhão de laser.
- Figura 6 - Meio óptico transparente.
- Figura 7 - Meio óptico translúcido.
- Figura 8 - Meio óptico opaco.
- Figura 9 - Princípio da independência dos raios de luz.
- Figura 10 - Princípio da reversibilidade dos raios de luz.
- Figura 11 - Formação de sombra e penumbra.
- Figura 12 - Fonte puntiforme gerando sombra.
- Figura 13 - Fonte extensa gerando sombra e penumbra.
- Figura 14 - Câmara escura de orifício.
- Figura 15 - Prisma de Newton.
- Figura 16 - Reflexão luminosa.
- Figura 17 - Reflexão luminosa regular.
- Figura 18 - Reflexão luminosa difusa.
- Figura 19 - Representação de um espelho plano.
- Figura 20 - Imagem de um objeto no espelho plano.
- Figura 21 - Determinação do campo de visão.
- Figura 22 - Determinação do campo de visão.
- Figura 23 - Translação de espelho plano.
- Figura 24 - Rotação de espelho plano.
- Figura 25 - Formação de múltiplas imagens no espelho plano.
- Figura 26 - Associação de espelhos planos.
- Figura 27 - Tipos de calotas esféricas.
- Figura 28 - Espelho côncavo.
- Figura 29 - Espelho convexo.
- Figura 30 - Raio incidente paralelo ao eixo.
- Figura 31 - Raio incidente passando pelo foco.
- Figura 32 - Raio incidente passando pelo vértice.

Figura 33 - Raio incidente paralelo ao eixo.

Figura 34 - Raio incidente direcionado ao foco.

Figura 35 - Raio incidente passando pelo vértice.

Figura 36 - Imagem de um objeto antes do centro.

Figura 37 - Imagem de um objeto no centro.

Figura 38 - Imagem de um objeto entre o centro e o foco.

Figura 39 - Imagem de um objeto em cima do foco.

Figura 40 - Imagem de um objeto entre o foco e o vértice.

Figura 41 - Imagem de um objeto no espelho convexo.

Figura 42 - Estudo analítico dos espelhos esféricos.

Figura 43 - Referencial de Gauss.

Figura 44 - Refração luminosa.

Figura 45 - Refração com incidência normal.

Figura 46 - Refração luminosa do meio mais refringente para o meio menos refringente.

Figura 47 - Refração luminosa do meio menos refringente para o meio mais refringente.

Figura 48 - Princípio de Fermat na refração.

Figura 49 - Leis da refração.

Figura 50 - Esquema da dispersão da luz branca no prisma.

Figura 51 - Dispersão da luz branca no prisma.

Figura 52 - Reflexão total na fibra óptica.

Figura 53 - Miragem.

Figura 54 - Incidência com ângulo de incidência nulo.

Figura 55 - Incidência com ângulo um pouco maior do que zero.

Figura 56 - Incidência com ângulo limite.

Figura 57 - Dióptro plano.

Figura 58 - Lâmina de faces paralelas.

Figura 59 - Esquema da lâmina de faces paralelas.

Figura 60 - Ângulos de um prisma.

Figura 61 - Relações entre os ângulos de um prisma.

Figura 62 - Gráfico do desvio angular mínimo.

Figura 63 - Lentes esféricas de borda fina.

Figura 64 - Lentes esféricas de borda grossa.

Figura 65 - Comportamento óptico das lentes esféricas quando  $n_{\text{lente}} > n_{\text{meio}}$ .

Figura 66 - Comportamento óptico das lentes esféricas quando  $n_{\text{lente}} < n_{\text{meio}}$ .

Figura 67 - Formação de uma imagem em uma lente esférica.

Figura 68 - Representação de uma lente delgada convergente.

Figura 69 - Representação de uma lente delgada divergente.

Figura 70 - Raio notável paralelo ao eixo.

Figura 71 - Raio notável passando pelo foco.

Figura 72 - Raio notável passando pelo centro óptico.

Figura 73 - Raio notável paralelo ao eixo.

Figura 74 - Raio notável direcionado ao foco.

Figura 75 - Raio notável passando pelo centro óptico.

Figura 76 - Imagem de um objeto antes do antiprincipal.

Figura 77 - Imagem de um objeto no antiprincipal.

Figura 78 - Imagem de um objeto entre o antiprincipal e o foco.

Figura 79 - Imagem de um objeto no foco.

Figura 80 - Imagem de um objeto entre o foco e o centro óptico.

Figura 81 - Imagem de um objeto em uma lente divergente.

Figura 82 - Estudo analítico de Gauss.

Figura 83 - Referencial de Gauss.

Figura 84 - Definindo as distâncias em relação à lente.

Figura 85 - Ilustração de uma onda sofrendo polarização.

Figura 86 - Polarização da luz.

Figura 87 - Polarização de uma onda eletromagnética.

Figura 88 - Polarização por reflexão.

Figura 89 - Rede de difração.

Figura 90 - Par de espectrômetros.

Figura 91 - Câmara escura.

Figura 92 - Disco de Newton.

Figura 93 - Associação de espelhos planos.

Figura 94 - Lentes esféricas.

Figura 95 - Par de películas polarizadoras.

Figura 96 - Itens do banco óptico.

Figura 97 - Par de espectrômetros.

Figura 98 - Câmara escura.

Figura 99 - Disco de Newton.

Figura 100 - Associação de espelhos planos.

Figura 101 - Lentes esféricas.

Figura 102 - Par de películas polarizadoras.

Figura 103 - Câmara escura de orifício.

Figura 104 - Utilização da câmara escura de orifício.

Figura 105 - Espectrômetro.

Figura 106 - Utilização do espectrômetro.

Figura 107 - Utilização do disco de Newton.

Figura 108 - Lentes esféricas.

Figura 109 - Utilização de uma lente esférica.

Figura 110 - Utilização das películas polarizadoras.

Figura 111 - Associação de espelhos planos.

Figura 112 - Formação das imagens múltiplas nos espelhos associados.

## **LISTA DE GRÁFICOS**

- Gráfico 1 - Respostas fornecidas pelos alunos das turmas 1e 2 ao pré-teste (Questão 1).
- Gráfico 2 - Respostas fornecidas pelos alunos das turmas 1e 2 ao pré-teste (Questão 2).
- Gráfico 3 - Respostas fornecidas pelos alunos das turmas 1e 2 ao pré-teste (Questão 3).
- Gráfico 4 - Respostas fornecidas pelos alunos das turmas 1e 2 ao pré-teste (Questão 4).
- Gráfico 5 - Respostas fornecidas pelos alunos das turmas 1e 2 ao pré-teste (Questão 5).
- Gráfico 6 - Respostas fornecidas pelos alunos das turmas 1e 2 ao pré-teste (Questão 6).
- Gráfico 7 - Respostas fornecidas pelos alunos das turmas 1e 2 ao pré-teste (Questão 7).
- Gráfico 8 - Respostas fornecidas pelos alunos das turmas 1e 2 ao pré-teste (Questão 8).
- Gráfico 9 - Respostas fornecidas pelos alunos das turmas 1e 2 ao pré-teste (Questão 9).
- Gráfico 10 - Respostas fornecidas pelos alunos ao pós-teste (Questão 1).
- Gráfico 11 - Respostas fornecidas pelos alunos ao pós-teste (Questão 2).
- Gráfico 12 - Respostas fornecidas pelos alunos ao pós-teste (Questão 3).
- Gráfico 13 - Respostas fornecidas pelos alunos ao pós-teste (Questão 4).
- Gráfico 14 - Respostas fornecidas pelos alunos ao pós-teste (Questão 5).
- Gráfico 15 - Respostas fornecidas pelos alunos ao pós-teste (Questão 6).

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Quantitativo das respostas dadas em cada questão do pré-teste.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	18
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	22
<b>2.1</b>	<b>Objetivo geral</b> .....	22
<b>2.2</b>	<b>Objetivos específicos</b> .....	22
<b>3</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	24
<b>3.1</b>	<b>Características da luz</b> .....	24
<b>3.2</b>	<b>Descrição matemática de uma onda eletromagnética</b> .....	24
<b>3.3</b>	<b>Pressão da radiação</b> .....	29
<b>3.4</b>	<b>Meios ópticos</b> .....	31
<b>3.5</b>	<b>Princípios da óptica geométrica</b> .....	32
<b>3.6</b>	<b>A cor de um objeto</b> .....	35
<b>3.7</b>	<b>Reflexão da luz</b> .....	36
<b>3.8</b>	<b>Espelho plano</b> .....	38
<b>3.9</b>	<b>Espelhos esféricos</b> .....	44
<b>3.10</b>	<b>Refração luminosa</b> .....	54
<b>3.11</b>	<b>Princípio de Fermat na refração</b> .....	57
<b>3.12</b>	<b>Lentes esféricas</b> .....	67
<b>3.13</b>	<b>Equação dos fabricantes de lentes</b> .....	70
<b>3.14</b>	<b>Polarização da luz</b> .....	81
<b>4</b>	<b>DAVID AUSUBEL: APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA</b> .....	85
<b>5</b>	<b>PRODUTO EDUCACIONAL</b> .....	89
<b>5.1</b>	<b>Itens do banco óptico</b> .....	89
<b>5.2</b>	<b>Os materiais utilizados no banco óptico</b> .....	94
<b>5.3</b>	<b>A construção do banco óptico</b> .....	96
<b>5.4</b>	<b>Proposta pedagógica</b> .....	99
<b>6</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	101
<b>7</b>	<b>ANÁLISE DOS RESULTADOS</b> .....	103
<b>7.1</b>	<b>Análise do resultado do pré-teste</b> .....	103
<b>7.2</b>	<b>Análise das respostas do pós-teste</b> .....	113
<b>8</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	121
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	123



<b>APÊNDICE A - ANÁLISE DOS CONHECIMENTOS PRÉVIOS EM ÓPTICA GEOMÉTRICA .....</b>	<b>126</b>
<b>APÊNDICE B - QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO DE APRENDIZAGEM DOS ALUNOS .....</b>	<b>128</b>
<b>APÊNDICE C - MANUAL DE APLICAÇÃO DO PRODUTO O BANCO ÓPTICO COMO FERRAMENTA LÚDICA PARA O ENSINO DE ÓPTICA GEOMÉTRICA .....</b>	<b>130</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Em minha experiência docente me chama a atenção a falta de laboratórios de física na maioria das Escolas, o que corrobora para o desinteresse dos alunos pela disciplina de Física. Particularmente impactante no ensino de óptica, pois os alunos não conseguem visualizar na prática a ocorrência dos fenômenos ópticos. Talvez a óptica geométrica seja o assunto de física em que se precise mais visualização para a compreensão. Dessa forma, o professor apenas se apega a alguns fenômenos físicos simples que ocorrem no dia a dia do estudante como o arco-íris, utilização de lentes, miragens. Tudo baseando na representação geométrica de um raio de luz, ou seja, o aluno precisa de uma grande capacidade de abstração. Infelizmente, o ensino de Física ainda hoje é compreendido apenas como aplicação de fórmulas, ou seja, os discentes não percebem a conexão existente entre os fenômenos físicos que os cercam no dia-a-dia e a teoria ensinada em sala de aula. Nesse contexto, o banco óptico proposto neste trabalho tem como objetivo servir como ferramenta lúdica para o ensino de Óptica Geométrica, visando facilitar o aprendizado para o discente, ou seja, os alunos terão acesso aos experimentos de Física em sua sala de aula, podendo associar os novos conhecimentos com os conhecimentos prévios que eles já trazem do seu cotidiano, proporcionando a aprendizagem significativa, proposta pelo teórico David Ausubel.

Gaspar (2005) destaca que a visita a museus e centros de ensino de ciências vem aumentando desde a década de 70. Isso é muito importante, pois o aluno poderá vivenciar atividades práticas no contexto do conteúdo estudado, tudo embasado em um plano pedagógico direcionado, para que o aluno não seja um mero espectador, mas, para que ele consiga concatenar os ensinamentos teóricos com a atividade prática em questão. A falta de uma orientação pedagógica adequada compromete o intuito das atividades experimentais de baixo custo, bem como as atividades laboratoriais.

Silva (2005) alerta que outro fator que influencia para o agravamento desse quadro é o reduzido tempo para dar o conteúdo. Ele defende a criação de Kits de ensino de óptico, uma espécie de banco óptico, com experimentos de baixo custo para serem realizados em sala de aula pelo docente ou pelos próprios estudantes. Com a visualização dos fenômenos físicos ocorrendo, os alunos se sentiriam mais interessados, pois, haverá a curiosidade de entender porque aquilo está acontecendo.

Os estudos de Barroso *et al.* (2018) apontam que a atual geração dos alunos convive diretamente com a tecnologia e que um ensino de óptica baseado na utilização de

instrumentos, para uma atividade experimental, em sala de aula, vão despertar o interesse pelas aulas de Física, tornando-as lúdicas.

Araújo e Abib (2003) acreditam que as atividades experimentais contribuem de forma significativa para o ensino de Física, fazendo com que os experimentos mostrem aos discentes a comprovação da teoria estudada em sala de aula, ou até mesmo ilustrem alguns fenômenos relacionados com o assunto estudado.

Ainda citando os autores, eles chamam atenção para dois pontos importantes: Atualmente, é quase que consensual de que o ensino de física deve ser feito pautado ao uso de experimentos, mas não há um manual de apoio significativo ao docente. Os manuais que vêm anexos aos livros didáticos, reforçam um ensino tradicional, ou a utilização de laboratórios de Física, que infelizmente está ausente na maioria das escolas do Brasil, tornando-se impraticável para o professor. Outro ponto importante é de que as atividades experimentais quantitativas fazem com que os alunos tenham uma participação ativa, elas não acrescentam significativamente no desenvolvimento de percepção dos fenômenos Físicos, pois essas atividades, geralmente, servem para os alunos fazerem anotações dos resultados observados.

Seré *et al.* (2003) destaca que o aluno não pode ficar confinado apenas ao mundo conceitual sem ter contato com as atividades práticas, pois dessa forma, ele não terá condições de comparar os modelos, e julgar se os resultados estão condizentes com a teoria ou não.

O PCN+ destaca que as atividades experimentais são fundamentais, pois os alunos poderão manusear o aparato, isso fará com que o aluno possa perceber o fenômeno que está sendo mostrado e possa fazer os questionamentos, dessa forma, ele estará participando ativamente da construção do conhecimento. Assim o discente irá perceber que determinados fenômenos que ocorrem no cotidiano deles estão diretamente relacionados com o experimento apresentado em sala de aula.

Para Silva (2005) a óptica teve um grande desenvolvimento a partir do século XVII com os estudos de Newton, Young e Huygens.

Barroso *et al.* (2018) destaca que a luz tem um papel fundamental para o estudo da óptica geométrica, pois ela permite o entendimento de instrumentos ópticos de observação e projeção, partindo da visão humana, chegando à poderosos microscópios ópticos e telescópios, cada vez mais potentes. Todos esses instrumentos ópticos utilizam lentes

convergentes, semelhante a uma lupa, mas com uma vergência apropriada para cada finalidade.

Os PCNs destacam que as escolas devem voltar o conteúdo que será ensinado visando sempre o seguinte tripé: a investigação e compreensão dos fenômenos, a utilização da linguagem física, contextualização histórico e social.

Dessa forma, Silva (2005) alerta que, infelizmente, os estudantes não se mostram muito interessados em estudar a óptica, dando mais atenção aos outros assuntos de física, embora haja uma crescente utilização de dispositivos que funcionam utilizando os princípios ópticos como *Blue-Ray*, dispositivos de porta de elevador, leitor de código de barra, mostrador digital de relógios, dentre outros. Esse desinteresse pode ser atribuído ao modo arcaico de como o conteúdo de óptica ainda é ensinado aos alunos do ensino médio, utilizando-se apenas quadro e pincel, ou seja, ainda de forma tradicional. Dessa forma, o estudante não consegue perceber de forma clara como os fenômenos ópticos que são abordados em sala de aula estão presentes no dia a dia.

O mesmo autor pontua que em muitas universidades a carga horária de ensino de óptica vem diminuindo drasticamente, na graduação da Licenciatura em Física. Dessa forma, ele acredita que deve haver uma reestruturação curricular no ensino de óptica geométrica em todos os níveis de formação. Barroso *et al.* (2018) destaca que o ensino de óptica no ensino médio e superior vem declinando, com a diminuição da carga horária para a formação dos futuros professores.

De acordo com o PCN+, a escola tem o papel fundamental de direcionar a construção do mínimo de conhecimento que o cidadão precisa ter, para a compreensão dos fenômenos que os cerca, dando menos importância ao ensino de Física voltado para a aplicação de fórmulas e valorizando mais a Física do dia-a-dia, não há a necessidade de ensinar tudo sobre um determinado conteúdo, mas ensinar apenas o que for indispensável para a formação do aluno como cidadão, visando sempre a compreensão do mundo que o cerca, servindo como ferramenta para sua forma de tomar decisões ao longo de sua vida, sobre situações reais

Nesse contexto das dificuldades expostas, o presente trabalho tem como proposta a construção de um banco óptico com experimentos simples e de baixo custo que irão colaborar com os professores como ferramenta lúdica para as aulas de Óptica Geométrica.

Várias ações complementares podem ser propostas pelos professores ao longo das aulas. Dessa forma, Araújo e Abib (2003) propõem para os estudos práticos de óptica a construção de um esfêmetro, para os estudos das leis da reflexão e refração, a construção de uma luneta utilizando lentes de óculos velhos, para compreender como ocorre a associação de lentes, e também a utilização de um CD, para os estudos de redes de difração, tudo isso utilizando materiais de baixo custo.

De acordo com o PCN +, o estudo da Física no Ensino médio é voltado para a formação do cidadão no sentido de poder compreender os fenômenos, poder participar de forma atuante na realidade da sociedade em que vivem, não ficando totalmente alheios a determinados fenômenos que ocorrem diariamente, a partir de princípios e leis que regem o universo, bem como o uso e interpretação de gráficos, tabelas e fórmulas matemáticas. A Física presente no dia-a-dia da sociedade vem contextualizada e articulada com outras matérias.

No que segue, no próximo Capítulo 2 expomos os objetivos gerais e específicos deste trabalho. No Capítulo 3 apresentamos o referencial teórico da Física envolvido nesse trabalho. No Capítulo 4 fazemos uma breve explanação da teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel, nosso referencial teórico pedagógico. No Capítulo 5 apresentamos o Produto Educacional, razão desse trabalho, seus itens, o material utilizado, sua construção e uma proposta pedagógica de sua aplicação. No Capítulo 6, a metodologia do trabalho é exposta. No Capítulo 7 apresentamos a análise dos dados coletados através de questionários aplicados aos alunos participantes. As conclusões do trabalho são apresentadas no Capítulo 8. No Capítulo 9 estão as referências bibliográficas. Finalmente, os Apêndices A e B apresentam, respectivamente, os questionários para análise dos conhecimentos prévios e avaliativos de aprendizagem aplicados aos alunos participantes desse trabalho. No Apêndice C apresentamos o Produto Educacional com seu manual de aplicação dirigido aos professores.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Geral

O objetivo geral deste projeto é auxiliar o ensino de Óptica Geométrica utilizando um banco óptico de baixo custo, com itens que vão explorar desde os princípios da Óptica Geométrica, bem como a reflexão, a refração e a polarização da luz de forma lúdica, fazendo com que os alunos compreendam todos esses conteúdos.

O banco óptico poderá ser usado na prática pedagógica como um aparato enriquecedor para as aulas de Física. Como consequência, ele instigará a curiosidade dos alunos do ensino médio, fazendo com que eles passem a participar das aulas de Física, deixando de serem meros espectadores, passando a terem o papel mais ativo no processo de ensino e aprendizagem. Isso fará com que os alunos consigam perceber o quanto é belo estudar a Física e aumente o interesse pelos estudos de Óptica Geométrica. Para verificar se houve aprendizagem significativa, após a aplicação de cada item do banco óptico, o professor poderá solicitar aos alunos que façam um mapa conceitual, destacando os principais pontos acerca da prática proposta, em seguida, o professor poderá mensurar o aprendizado com uma aplicação de um pós-teste, com questionamentos relativos à prática e questionamentos além da prática que o faça associar o conteúdo estudado em sala de aula com situações encontradas no dia a dia do estudante.

### 2.2 Objetivos específicos

- Aproximar os alunos do ensino médio aos estudos de Óptica Geométrica.
- Mostrar que a utilização de um banco óptico pode instigar os alunos a se interessarem mais pelas aulas de Física.
- Mostrar que o banco Óptico pode ser usado na prática pedagógica como um aparato enriquecedor para as aulas de Física.
- Aumentar a interação e a participação dos discentes ao longo das aulas de Física.
- Aguçar a curiosidade.
- Mostrar para os discentes o princípio da propagação retilínea da luz através de uma câmara escura de orifício.

- Reproduzir as múltiplas imagens, fazendo-se uma associação de espelhos planos.
- Demonstrar para o aluno que a luz branca é policromática e pode ser decomposta utilizando-se um espectrômetro.
- Demonstrar que com a junção das luzes visíveis do espectro de ondas eletromagnéticas, pode-se chegar à luz branca, através do Disco de Newton.
- Demonstrar que a luz é uma onda transversal, podendo ser polarizável, usando películas polarizadoras.
- Analisar as diferenças entre as imagens reais e virtuais, utilizando-se lentes convergentes e divergentes.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 Características da luz

No estudo da óptica geométrica, Knight (2009) destaca que a personagem principal é a luz a qual deve-se fazer uma breve explicação de suas características. A luz pode ser entendida como sendo o agente físico que quando atua nos órgãos visuais produz a sensação de visão. Baseado no modelo dos raios luminosos, para enxergarmos a maioria dos objetos ao nosso redor, a olho nu, precisamos de luz. Embora a luz possua um comportamento dual, para o embasamento teórico desse trabalho, ressaltaremos apenas o seu caráter ondulatório.

Segundo Hewitt (2015), luz visível é uma onda eletromagnética e a sua faixa de frequência está compreendida dentro do espectro eletromagnético na faixa de frequência entre  $4,3 \times 10^{14}$  vibrações por segundo (vermelho) e  $7,0 \times 10^{14}$  vibrações por segundo (violeta). Existem várias outras ondas eletromagnéticas, tais como: ondas de rádio, micro-ondas, infravermelho, ultravioleta, raios-x e radiação gama. Todas as ondas eletromagnéticas no vácuo possuem a velocidade aproximada de  $3,0 \times 10^5$  Km/s ou  $3,0 \times 10^8$  m/s. De acordo com Halliday e Walker (2009), essa velocidade é dada por:

$$c = \frac{E}{B} = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \cdot \epsilon_0}} \quad (3.1)$$

Todas as ondas eletromagnéticas são campos vetoriais e possuem dois campos, um elétrico e outro magnético, perpendiculares entre si, obedecendo às equações harmônicas:

$$E = E_m \text{ sen}(kx - \omega t) \quad (3.2)$$

$$B = B_m \text{ sen}(kx - \omega t), \quad (3.3)$$

onde  $E_m$  e  $B_m$  são as amplitudes dos campos E e B, respectivamente.

#### 3.2 Descrição matemática de uma onda eletromagnética

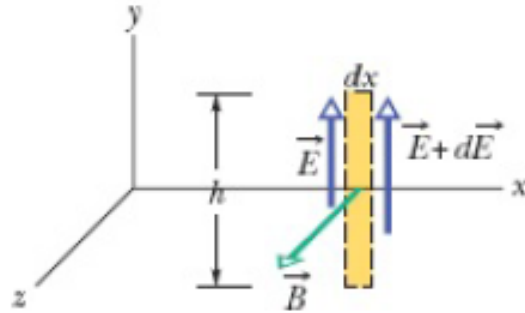
Segundo Halliday e Walker (2009), as equações  $c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}}$  e  $\frac{E_m}{B_m} = c$  são

fundamentais para a compreensão da indução recíproca dos campos elétricos e magnéticos, ou seja, um campo magnético oscilante induz um campo magnético oscilante perpendicular. De acordo com a Lei de Faraday, quando a onda eletromagnética passar pelo retângulo, o seu fluxo varia, gerando campos elétricos induzidos no retângulo. Rigorosamente falando, os



campos eletromagnéticos são grandezas vetoriais. No momento, esse aspecto é irrelevante e não será considerado.

Figura 1 - Campo magnético oscilante induzindo campo elétrico oscilante perpendicular.



Fonte: Fundamentos de Física, volume 4 - Halliday e Walker (2009).

O campo elétrico induzido  $\vec{E}$  e  $\vec{E} + d\vec{E}$  são componentes elétricas da onda eletromagnética e aparecem nos lados do retângulo, conforme apresentado na Figura 1. Aplicando-se a Lei de Faraday:

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{S} = -\frac{d\phi_B}{dt} \quad (3.4)$$

A contribuição na direção x é nula, pois os vetores E e dS são perpendiculares, logo, teremos:

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{S} = (E + dE)h - Eh = hdE \quad (3.5)$$

O fluxo do campo magnético no interior do retângulo é dado por:

$\phi_B = B.(h.dx)$ , onde  $h.dx$  corresponde à área do retângulo.

Derivando essa equação, teremos:

$$\frac{d\phi_B}{dt} = h.dx \frac{dB}{dt} \quad (3.6)$$

$$h.dE = -h.dx \frac{dB}{dt} \quad (3.7)$$

$$\frac{dE}{dx} = -\frac{dB}{dt} \quad (3.8)$$

Vamos usar as derivadas parciais:

$$\frac{\partial E}{\partial x} = -\frac{\partial B}{\partial t} \quad (3.9)$$

$$\frac{\partial E}{\partial x} = kE_m \cos(kx - \omega t) \quad \text{e} \quad \frac{\partial B}{\partial t} = -\omega B_m \cos(kx - \omega t) \quad (3.10)$$

Dessa forma, pode-se escrever:

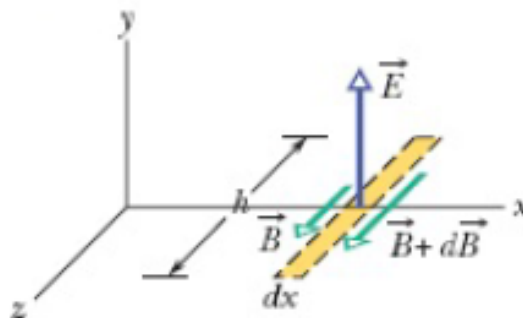
$$k \cdot E_m \cdot \cos(kx - \omega t) = \omega B_m \cos(kx - \omega t) \quad (3.11)$$

A razão  $\frac{\omega}{k} = c$  (velocidade de uma onda eletromagnética). Portanto,  $\frac{E_m}{B_m} = c$  (a razão entre as amplitudes).

### O Campo Magnético Induzido

De acordo com a Lei de Indução de Maxwell, quando a onda eletromagnética passar pelo retângulo, o fluxo do campo elétrico faz aparecer um campo magnético induzido no retângulo, conforme apresentado na Figura 2.

Figura 2 - Campo elétrico oscilante induzindo campo magnético oscilante perpendicular.



Fonte: Fundamentos de Física, volume 4 - Halliday e Walker (2009).

De forma análoga ao que foi feito para o campo elétrico, pode-se dizer que os campos induzidos são  $\vec{B}$  e  $\vec{B} + d\vec{B}$ . Aplicando-se a Lei de indução de Maxwell, teremos:

$$\oint \vec{B} d\vec{S} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{d\phi}{dt} \quad (3.12)$$

Como apenas os maiores lados do retângulo contribuem para a integral, pode-se escrever:

$$\oint \vec{B} d\vec{S} = -(B + dB)h + Bh = -h dB \quad (3.13)$$

$$\phi_E = (E)(h dx) \quad (\text{Fluxo de através do retângulo}) \quad (3.14)$$

Derivando essa equação, teremos:

$$\frac{d\phi_E}{dt} = h \cdot dx \frac{dE}{dt} \quad (3.15)$$

$$-h \cdot dB = \mu_0 \varepsilon_0 \left( h dx \frac{dE}{dt} \right) \quad (3.16)$$

$$-\frac{\partial B}{\partial x} = \mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial E}{\partial t} \quad (3.17)$$

Dessa forma, pode-se escrever:

$$-KE_m \cos(Kx - \omega t) = -\mu_0 \varepsilon_0 \omega E_m \cos(Kx - \omega t) \quad (3.18)$$

Podemos escrever do seguinte modo:

$$\frac{E_m}{B_m} = \frac{1}{\mu_0 \varepsilon_0 (\omega/k)} = \frac{1}{\mu_0 \varepsilon_0 c} \quad (3.19)$$

Combinando com a equação  $\frac{E_m}{B_m} = c$ , teremos:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \varepsilon_0}} \quad (3.20)$$

### Feixes de Luz

De forma didática, Knight (2009) salienta que um raio de luz pode ser representado através de uma seta. O conjunto de vários raios luminosos é denominado feixe de luz. Baseado na disposição dos raios de luz, pode-se fazer a classificação dos feixes de luz, baseado no diagrama de raios. Os feixes podem ser:

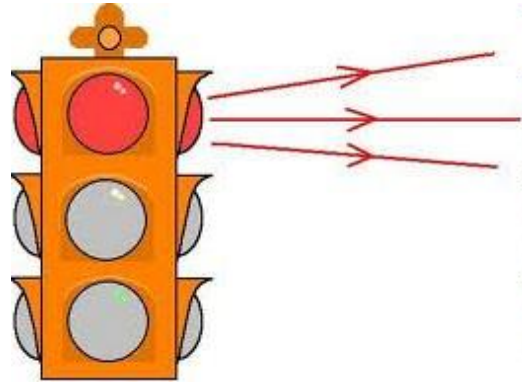
Convergente (Os raios de luz tendem a se concentrar, como por exemplo, em uma lupa. Como mostrado na Figura 3)

Figura 3 - Lupa como lente convergente.



Divergente (Os raios de luz tendem a se espalhar, como por exemplo, em um semáforo; como apresentado na Figura 4)

Figura 4 - Semáforo como feixe divergente.



Fonte: <https://d3eaq9o21rgr1g.cloudfront.net/aula-temp/412176/000000000000/curso-76060-aula-00/> Acesso: 08/07/2020.

Paralelo (Os raios estão dispostos de forma paralela, como um canhão de luz ou como os raios de uma estrela bem distante, salienta Knight (2009); como mostrado na Figura 5)

Figura 5 - Canhão de laser.



Fonte: <https://d3eaq9o21rgr1g.cloudfront.net/aula-temp/412176/000000000000/curso-76060-aula-00/> Acesso: 08/07/2020.

## Fontes Luminosas

Segundo Helou *et al.* (2012), Todos os objetos funcionam como fontes luminosas, podendo ser classificadas como:

## **I) Quanto à natureza:**

As fontes de luz podem ser consideradas como:

### **Primária**

As fontes primárias são aquelas que possuem luz própria. Por exemplo: o sol, uma lâmpada acesa, um vagalume aceso.

### **Secundária**

As fontes secundárias são aquelas que refletem a luz vinda de uma outra fonte, por exemplo, a lua, uma lâmpada apagada, uma mesa, uma árvore.

## **II) Quanto ao tamanho:**

Knight (2009) classifica as fontes quanto ao tamanho como:

Fontes Pontuais – Ocorre quando as dimensões da fonte são desprezíveis.

Fonte Extensa – Ocorre quando as dimensões da fonte não são desprezíveis.

Vale à pena ressaltar que a classificação da fonte como pontual ou extensa é relativa, pois depende da distância da fonte ao referencial adotado, ou seja, uma fonte pode ser classificada como pontual em uma determinada situação e a mesma fonte pode ser considerada extensa em outra situação. Por exemplo: Um navio transatlântico atracado em um porto pode ser considerado como sendo uma fonte extensa secundária para um passageiro que está adentrando nele, mas esse mesmo navio navegando na imensidão do oceano pode ser considerado como uma fonte pontual, para um satélite que faz o seu monitoramento.

### **3.3 Pressão da radiação**

De acordo com Halliday e Walker (2009), as ondas eletromagnéticas também podem exercer uma pressão de radiação sobre um determinado objeto, pois ela possui energia e momento linear. Maxwell conseguiu demonstrar que quando um objeto fica exposto a uma radiação durante um determinado intervalo de tempo  $\Delta t$ , além da energia de radiação recebida  $\Delta U$  ele também recebe um momento linear  $\Delta P$ , relacionados pela equação a seguir:

$\Delta P = \frac{\Delta U}{c}$  em que  $c$  é a velocidade da luz no vácuo.

Nesse caso, houve absorção total.

Quando a radiação for refletida perpendicularmente à superfície, a variação do momento linear será o dobro da anterior, caso semelhante ao que ocorre com uma bolinha de tênis sofrendo uma colisão perfeitamente elástica contra uma parede.

$$\Delta P = \frac{2 \cdot \Delta U}{c} \quad (3.21)$$

De acordo com o princípio fundamental da dinâmica, pode-se relacionar a força resultante com a variação da quantidade de movimento pela seguinte equação:

$$F = \frac{\Delta P}{\Delta t} \quad (3.22)$$

A intensidade de uma radiação pode ser calculada do seguinte modo:

$$I = \frac{\text{Potência}}{\text{Área}} \rightarrow I = \frac{\text{Energia / tempo}}{\text{Área}} \quad (3.23)$$

Logo, a energia interceptada pela radiação é dada por:

$$\Delta U = IA \cdot \Delta t \quad (3.24)$$

Como  $\Delta P = \frac{IA \cdot \Delta t}{c}$ , logo, o módulo da força exercida sobre a superfície será:

$$F = \frac{Ia}{c} \quad (3.25)$$

Se a radiação for totalmente refletida, poderemos dizer que:

$$F = \frac{2 \cdot Ia}{c} \quad (3.26)$$

Como a pressão pode ser escrita  $P = \frac{\text{Força}}{\text{área}}$ , logo, a pressão exercida por uma radiação é dada por:

$$P_r = \frac{I}{c} \quad (3.27)$$

Caso a radiação seja refletida totalmente, teremos:

$$P_r = \frac{2I}{c} \quad (3.28)$$

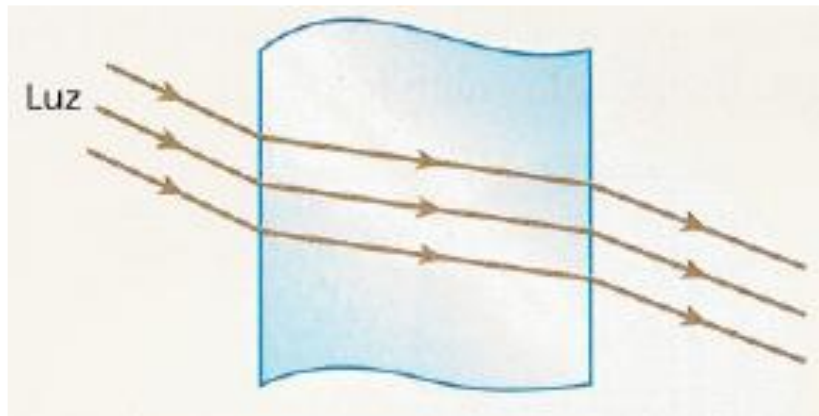
### 3.4 Meios ópticos

Segundo Hewitt (2015), quando a luz se propaga através da matéria ela faz com que os elétrons oscilem de tal modo que as oscilações da fonte emissora produzem oscilações no receptor. O meio óptico é o local por onde a luz se propaga. Podem-se classificar os meios como sendo:

#### I) Transparente

No meio transparente (Figura 6), a luz se propaga em linha reta, permitindo a visão nítida dos objetos. Isso ocorre, pois quando a luz atravessa um meio transparente os elétrons são postos a vibrar.

Figura 6 - Meio óptico transparente.



**Fonte:** <https://www.alfaconnection.pro.br/fisica/luz/conceitos-basicos/conceitos-e-principios-fundamentais-da-otica-geometrica/> Acesso: 09/07/2020.

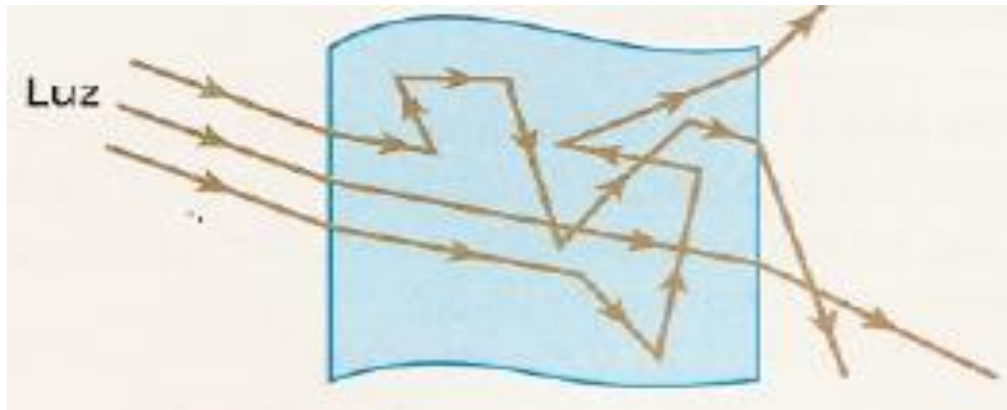
#### II) Translúcido

Permite a visão parcial dos objetos, por exemplo, papel vegetal (Figura 7).

#### III) Opaco

Segundo Hewitt (2015), o meio opaco impede a propagação da luz, pois ele absorve a luz e não a emite de volta ou a deixa atravessar (Figura 8). As vibrações implementadas aos seus átomos são transformadas em energia cinética, tornando esses materiais mais quentes.

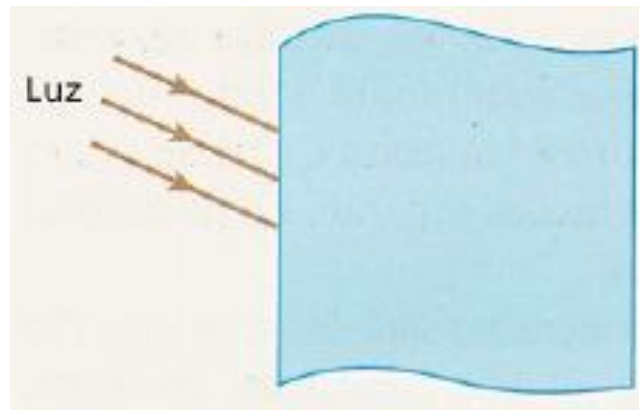
Figura 7 - Meio óptico translúcido.



Fonte: <https://www.google.com.br/search?q=meio+translucido&tbn=isch&ved=2ahUKEwjJjOH1>

Acesso: 09/07/2020.

Figura 8 - Meio óptico opaco.



Fonte: <https://www.google.com.br/search?q=meio+translucido&tbn=isch&ved=2ahUKEwjJjOH1>

Acesso: 09/07/2020.

### 3.5 Princípios da óptica geométrica

#### I) Princípio da independência dos raios de luz.

De acordo com Knight (2009), se dois feixes de luz forem confrontados, um interceptando o outro, um passa pelo outro de forma independente, por mais que os feixes possuam cores diferentes, ou seja, eles não interagem entre si (Figura 9). Vale à pena ressaltar que no local de encontro dos feixes coloridos haverá uma mistura de cores.

#### II) Princípio da reversibilidade dos raios de luz

Hewitt (2015) destaca que o caminho que a luz faz na ida é igual ao caminho que a luz faz na volta, caso mude a posição das fontes de luz (Figura 10).

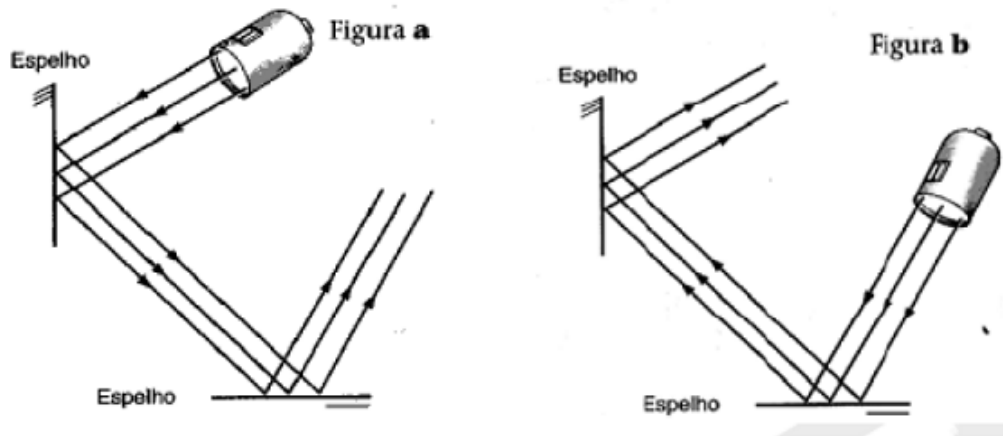


Figura 9 - Princípio da independência dos raios de luz.



Fonte: <https://app.planejativo.com/ver-aula/592/material-de-apoio/resumo/fisica-2/principios-da-optica-geometrica>. Acesso: 10/07/2020.

Figura 10 - Princípio da reversibilidade dos raios de luz.



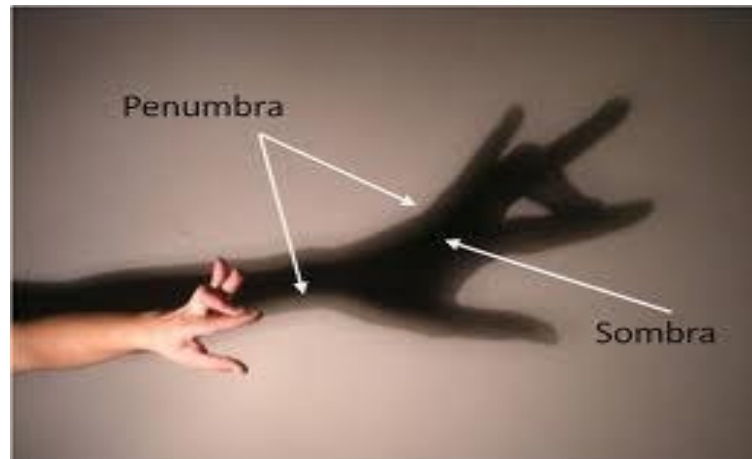
Fonte: <http://well31.comunidades.net/modelo-geometrico>. Acesso: 10/07/2020.

### III) Princípio de propagação retilínea dos raios de luz

Ainda citando o autor anterior, nos meios homogêneos e transparentes a luz se propaga em linha reta. Graças a esse princípio é que se tem no dia a dia a formação das sombras e penumbras. A sombra é aquela região onde a luz não consegue chegar, já a penumbra, pode ser definida como sendo uma sombra iluminada (Figura 11).

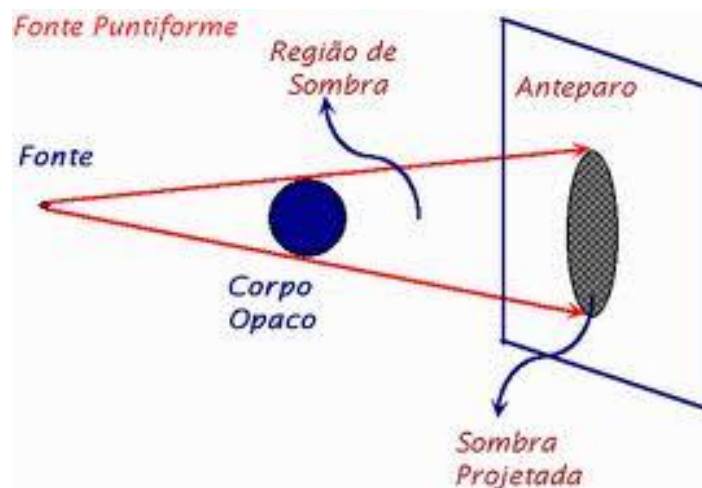
Nussenzeig (1998) destaca um detalhe muito importante, as fontes pontuais só geram sombras, como um buraco de um alfinete iluminado (Figura 12), já as fontes extensas geram sombra e penumbra (Figura 13). Logo, pode-se concluir que o sol é uma fonte extensa, pois durante a formação de um eclipse solar, há na terra a formação de região de sombra, onde o eclipse é total e penumbra, onde o eclipse é parcial.

Figura 11 - Formação de sombra e penumbra.



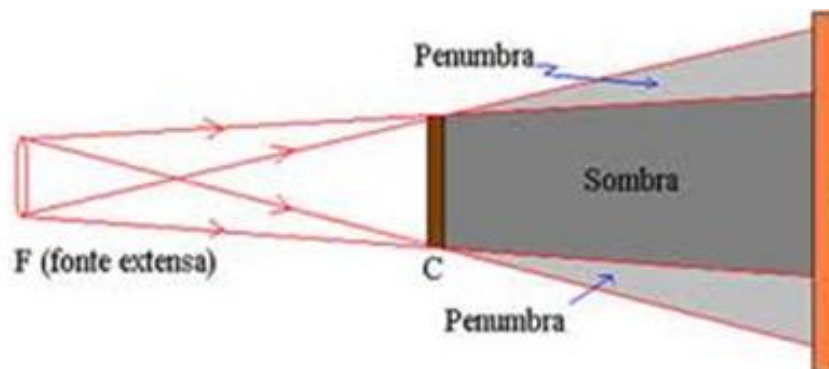
Fonte: <http://cienciasfisicoquimicas789.blogspot.com/2013/06/luz.html>. Acesso: 12/07/2020.

Figura 12 - Fonte puntiforme gerando sombra.



Fonte: [http://objetoseducacionais2.mec.gov.br/bitstream/handle/mec/24515/05\\_teorias\\_frame.htm](http://objetoseducacionais2.mec.gov.br/bitstream/handle/mec/24515/05_teorias_frame.htm) Acesso: 12/07/2020.

Figura 13 - Fonte extensa gerando sombra e penumbra.



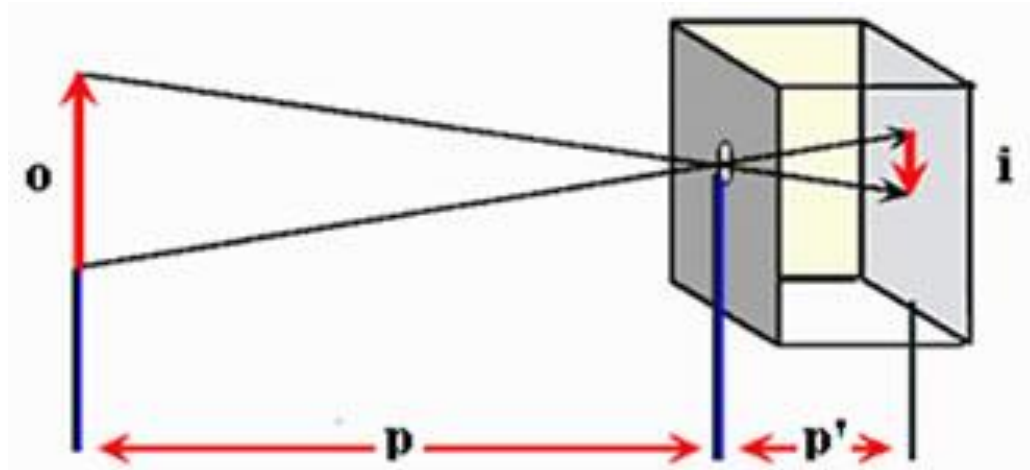
Fonte: <https://slideplayer.com.br/slide/6173153/> Acesso: 12/07/2020.

Knight (2009) relembra que a câmara escura era uma forma de entretenimento na época da Roma antiga e ela inspirou a invenção da câmera fotográfica, destaca Nussenzveig (1998). A câmara escura pode ser confeccionada utilizando-se uma caixa de papelão e papel vegetal e um alfinete para fazer o orifício (Figura 14). Basta retirar uma das faces da caixa e no seu lugar colar o papel vegetal, onde a imagem será projetada. Na face oposta à face do papel vegetal, faça um orifício com um prego fino. Para o funcionamento, basta direcionar o orifício da câmara para um objeto e ficar observando a face com o papel vegetal. Nela aparecerá a imagem real do objeto diminuída e projetada de cabeça para baixo.

Analisando-se a Figura 14, percebe-se que há 2 triângulos semelhantes, onde se pode escrever a seguinte relação por semelhança de triângulos:

$$\frac{o}{i} = \frac{p}{p'} \quad (3.29)$$

Figura 14 - Câmara escura de orifício.



Fonte: <https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/principio-propagacao-retilinea-luz.htm>. Acesso: 15/07/2020.

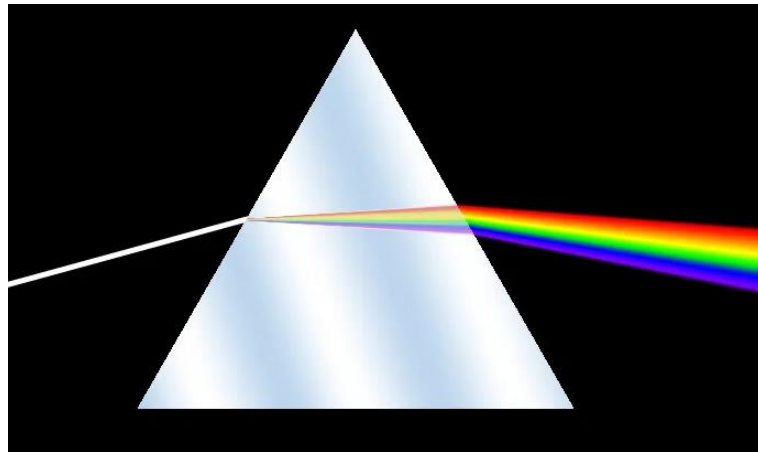
### 3.6 A cor de um objeto

Segundo Hewitt (2015), a maior parte dos objetos ao nosso redor pode ser classificado como fontes secundárias de luz, pois refletem a luz que vem de outra fonte. Para que se possa enxergar uma pétala de rosa vermelha, por exemplo, deve-se iluminá-la por luz vermelha monocromática ou por luz policromática, como a luz branca que possui dentre outras cores a luz vermelha. A superfície da pétala absorverá todas as cores, excetuando-se a cor vermelha que será refletida, chegando aos olhos do observador que perceberá o objeto da cor vermelha. Caso a luz vermelha não chegue à superfície do objeto, ele terá uma ausência

de cor, sendo caracterizado pela escuridão. Conclusão: os objetos que enxergamos preto, na realidade, neles há uma ausência de luz. Já os objetos que enxergamos branco, há uma mistura de cores, no caso, as cores que compõe um arco-íris.

Halliday e Walker (2009) destaca que a luz branca é policromática e é composta pelas cores vermelha, alaranjada, amarela, verde, azul, anil e violeta e todas possuem intensidades aproximadamente iguais. Segundo Helou *et al.* (2012), foi Isaac Newton quem conseguiu pela primeira vez mostrar em laboratório que a luz solar é composta por todas as cores do arco-íris (Figura 15). Ele construiu um prisma óptico e o interceptou por um feixe de luz solar e, após sofrer uma dispersão, observou a projeção das cores em um anteparo.

Figura 15 - Prisma de Newton.



Fonte: <https://cref.if.ufrgs.br/?contact-pergunta=dispersao-e-refracao-da-luz> Acesso: 27/03/2021.

### 3.7 Reflexão da luz

De acordo com os estudos de Helou *et al.* (2012) a reflexão da luz nos permite visualizar a maior parte dos objetos em nosso dia a dia, pois a maior parte deles são fontes de luz secundárias. A reflexão luminosa ocorre quando a luz incidente ao bater em uma superfície retorna ao meio de origem (Figura 16). Observa-se que durante a reflexão luminosa não há mudança na velocidade da luz, nem de seu comprimento de onda e nem de sua frequência.

A reflexão luminosa é regida por duas leis que são:

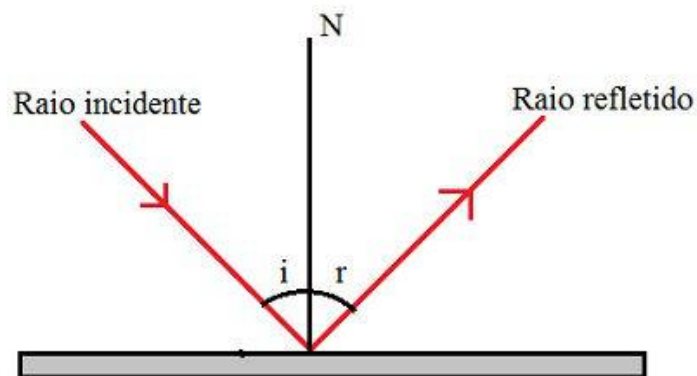
1ª Lei da Reflexão:

O raio incidente, a reta normal e raio refletido são coplanares.

2ª Lei da Reflexão:

O ângulo de incidência e o ângulo de reflexão são iguais ( $i = r$ ).

Figura 16 - Reflexão luminosa.



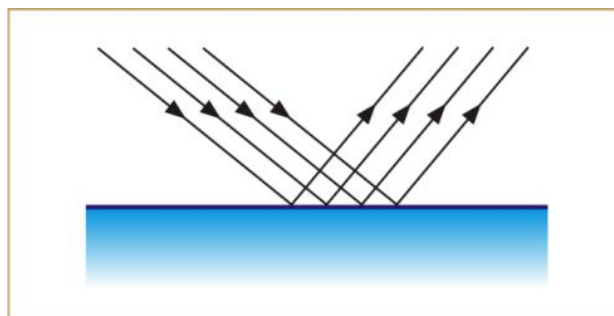
Fonte: <https://brasilecola.uol.com.br/o-que-e/fisica/o-que-e-reflexao-luz.htm> Acesso: 17/07/2020.

Pode-se classificar a reflexão da luz como sendo:

### **Reflexão regular:**

De acordo com Knight (2009) a reflexão especular (regular) ocorre quando os raios solares são refletidos de maneira regular, ou seja, de forma organizada em um plano perpendicular à superfície refletora (Figura 17).

Figura 17 - Reflexão luminosa regular.

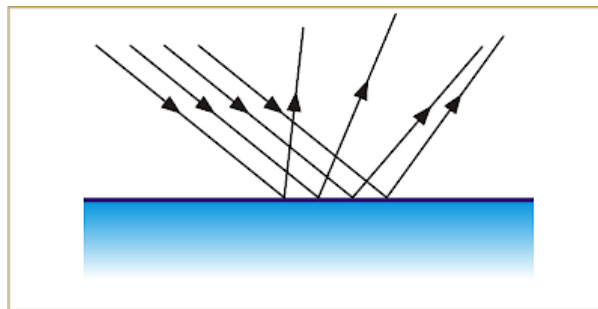


Fonte: [http://osfundamentosdafisica.blogspot.com/2017/08/cursos-do-blog-termologia-optica-e-ondas\\_15.html](http://osfundamentosdafisica.blogspot.com/2017/08/cursos-do-blog-termologia-optica-e-ondas_15.html) Acesso: 17/07/2020.

### Reflexão difusa:

A reflexão difusa ocorre quando os raios são refletidos de maneira desorganizada, ou seja, de forma aleatória (Figura 18). Para que isso ocorra, a superfície onde a luz está incidindo não pode ser lisa e polida, ou seja, ela deve apresentar irregularidades. Mesmo assim, as leis da Reflexão continuam válidas, destaca Knight (2009).

Figura 18 - Reflexão luminosa difusa.



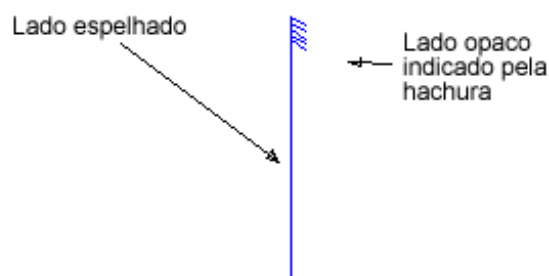
Fonte: [http://osfundamentosdafisica.blogspot.com/2017/08/cursos-do-blog-termologia-optica-e-ondas\\_15.html](http://osfundamentosdafisica.blogspot.com/2017/08/cursos-do-blog-termologia-optica-e-ondas_15.html) Acesso: 20/07/2020.

O utensílio presente na maioria das residências que faz utilização dos princípios da reflexão luminosa é o espelho. Os espelhos que são estudados no ensino médio são os espelhos planos e os espelhos esféricos.

### 3.8 Espelho plano

Knight (2009) enfatiza que o espelho plano é o tipo de espelho mais simples de nosso dia a dia. Ele recebe esse nome pois a sua superfície refletora é plana (Figura 19).

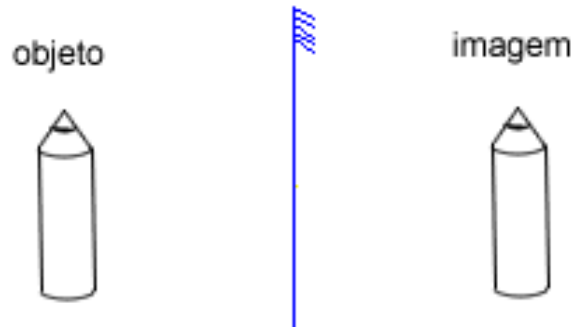
Figura 19 - Representação de um espelho plano.



Fonte: <http://tomdafisica.blogspot.com/2011/03/espelho-plano.html>. Acesso: 20/07/2020.

O objeto deve ser colocado de frente para o lado espelhado, ou seja, na parte externa do espelho e a imagem deve ser representada na parte interna do espelho (lado de trás do espelho), ou seja, do mesmo lado da hachura, conforme a Figura 20.

Figura 20 - Imagem de um objeto no espelho plano.



Fonte: <http://tomdafisica.blogspot.com/2011/03/espelho-plano.html>. Acesso: 21/07/2020.

Knight (2009) destaca algumas características da imagem de um espelho plano:

- I) A imagem e o objeto possuem a mesma altura;
- II) A imagem e o objeto são equidistantes em relação ao espelho;
- III) A imagem é enantiomorfa, ou seja, possui a forma contrária em relação ao objeto.
- IV) A imagem é direita em relação ao objeto.
- V) A imagem de um objeto real é virtual, ou seja, é formada pelos prolongamentos dos raios incidente e refletido.

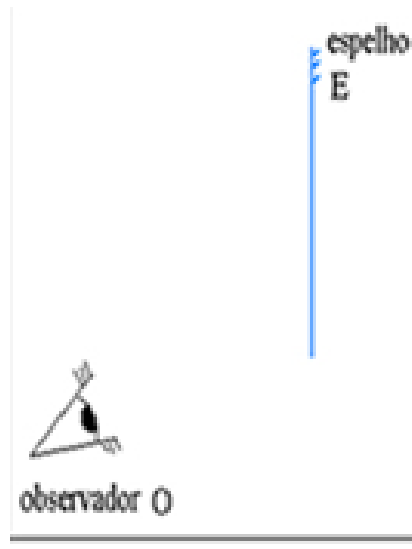
### **Campo de visão de um espelho plano**

De acordo com Helou *et al.* (2012), para se determinar o campo de visão de um observador em relação a um espelho plano (Figura 21), deve-se:

- I) Desenhar a imagem do observador em relação ao espelho;
- II) Traçar 2 retas partindo da imagem, passando pelas extremidades do espelho, conforme a Figura 22.

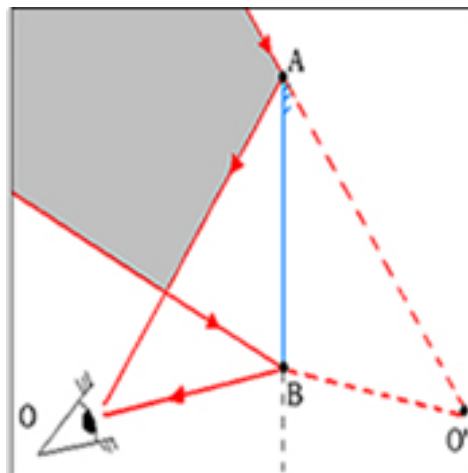
A região hachurada delimita o campo de visão. Quanto mais próximo do espelho, maior é o campo de visão que a pessoa possuirá.

Figura 21 - Determinação do campo de visão.



Fonte: <https://www.stoodi.com.br/resumos/fisica/reflexao-e-espelhos-planos/> Acesso: 21/07/2020.

Figura 22 - Determinação do campo de visão.



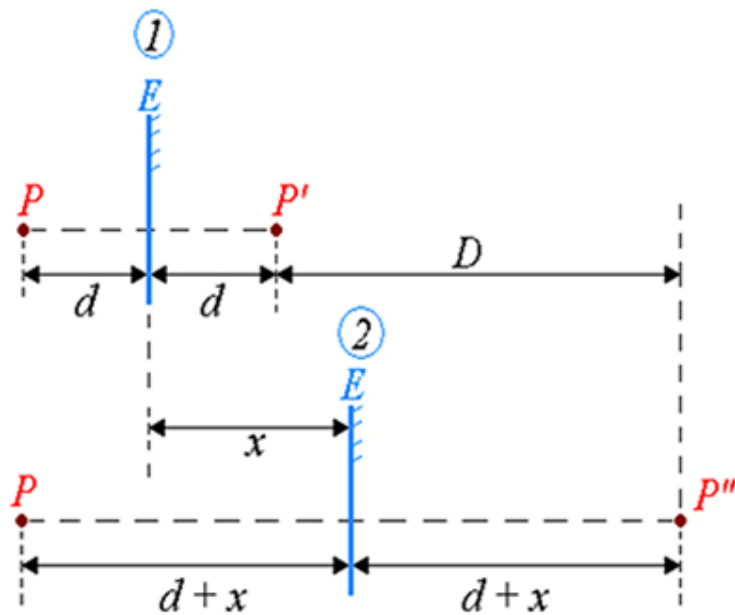
Fonte: <https://www.stoodi.com.br/resumos/fisica/reflexao-e-espelhos-planos/> Acesso: 23/07/2020.

### Translação de espelho plano

Segundo Helou *et al.* (2012), muitos estudantes acreditam que ao deslocar um espelho uma distância “ $x$ ” a imagem do objeto também se deslocará “ $x$ ”. Mas, essa afirmação está incorreta. Na realidade, quando um espelho plano se desloca “ $x$ ”, a imagem de um objeto fixo se desloca “ $2.x$ ”, em relação a um referencial fixo.



Figura 23 - Translação de espelho plano.



Fonte: <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/translacao-um-espelho-plano.htm>. Acesso: 23/07/2020.

Analisando a figura de translação, pode-se concluir:

$$2 \cdot d + D = d + x + d + x \rightarrow 2 \cdot d + D = 2 \cdot d + 2 \cdot x \rightarrow D = 2 \cdot x \quad (3.30)$$

Conclusão:

Se o espelho se deslocar em relação a um referencial fixo, a imagem se deslocará o dobro em relação a um referencial fixo.

Dividindo-se ambos os lados por  $\Delta t$ , tempo necessário para fazer o deslocamento do espelho, teremos:

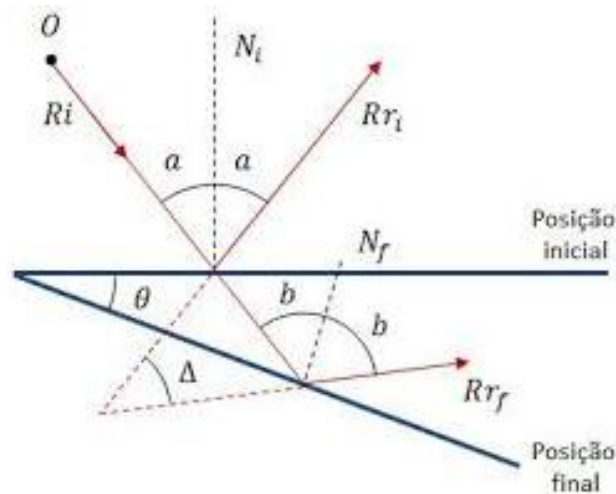
$$D = 2 \cdot x \rightarrow D = 2 \cdot x \text{ (dividindo por } \Delta t \text{)}$$

$$V_{\text{imagem}} = 2 \cdot V_{\text{espelho}}, \text{ em relação a um referencial fixo.}$$

### Rotação de Espelho plano

Considere uma reflexão luminosa simples ocorrendo em um espelho plano simples quando ele se encontra na posição inicial, conforme ilustra a Figura 24.

Figura 24 - Rotação de espelho plano.



Fonte: <https://www.respondeai.com.br/conteudo/espelhos-planos/exercicios/prove-espelho-plano-for-girado-angulo-raio-refletido-girara-angulo-4589>. Acesso: 25/07/2020.

Helou *et al.* (2012) destaca que rotacionando-se o espelho de um ângulo  $\theta$ , o raio refletido também sofrerá uma rotação que, no caso, será representada por  $\Delta$ . Vamos tentar achar uma relação entre  $\Delta$  e  $\theta$ .

Pode-se escrever as seguintes equações, analisando-se os triângulos formadas na Figura 24.

$$\Delta + 2\alpha + 180^\circ - 2b = 180^\circ \rightarrow \Delta = 2(b - \alpha)$$

$$\theta + 90^\circ + \alpha + 90^\circ - b = 180^\circ \rightarrow \theta = b - \alpha$$

$$\text{Logo: } \Delta = 2\theta \quad (3.31)$$

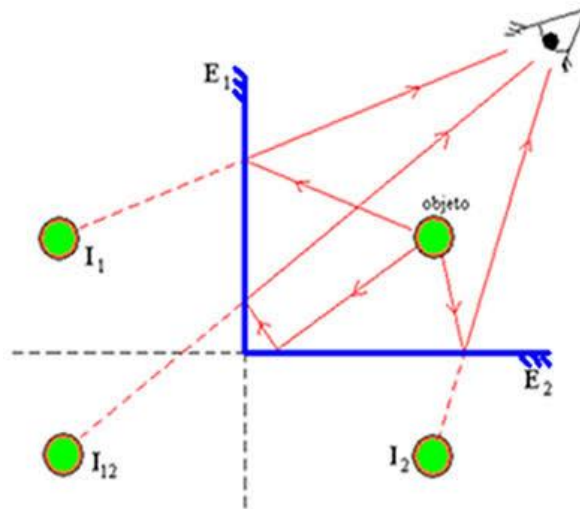
Conclusão:

Girando-se um espelho de um ângulo, o raio refletido rotacionará o dobro.

### Associação de espelhos planos

Dispondo 2 espelhos planos formando um ângulo  $\alpha$  entre as superfícies espelhadas e um objeto entre eles, haverá a formação de múltiplas imagens, destaca Helou *et al.* (2012). A Figura 25 apresenta, como exemplo, com o ângulo de 90 graus e a Figura 26 com o ângulo de 60 graus.

Figura 25 - Formação de múltiplas imagens no espelho plano.



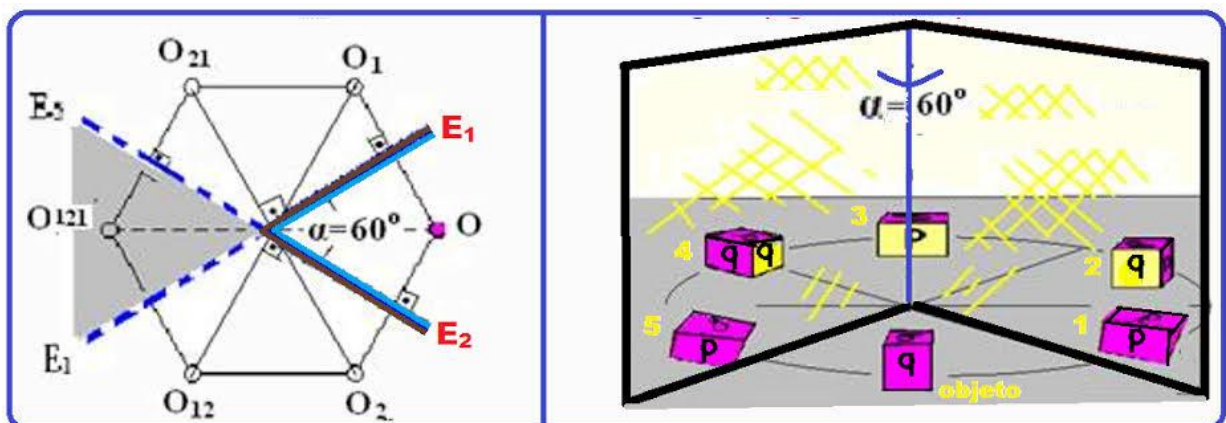
Fonte: <https://www.preparaenem.com/fisica/imagem-um-objeto-entre-dois-espelhos-planos.htm>. Acesso: 25/07/2020.

Tanto o objeto quanto as imagens estarão dispostas em cima de uma circunferência imaginária, igualmente espaçadas. Logo, para calcular a quantidade de imagens formadas, basta fazer um simples cálculo:

$$N = (360^\circ/\alpha) - 1 \quad (3.32)$$

Desconta-se 1, pois como se quer encontrar a quantidade de imagens geradas para um certo ângulo  $\alpha$ , deve-se excluir o objeto.

Figura 26 - Associação de espelhos planos.



Fonte: <https://fisicaestibular.com.br/novo/optica/optica-geometrica/associacao-de-espelhos-planos/> Acesso: 25/07/2020.

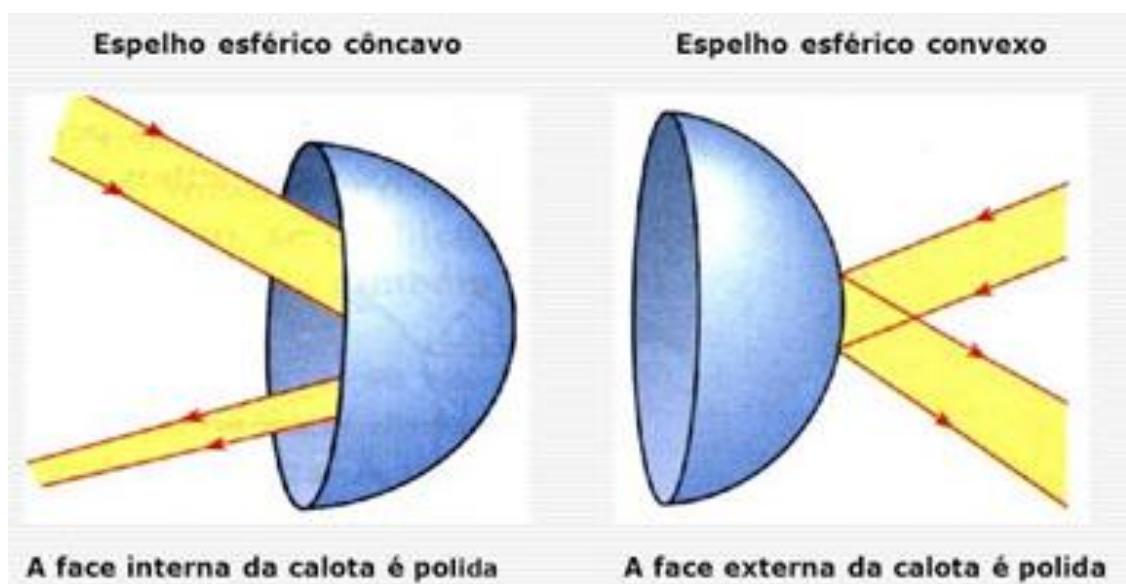
Helou *et al.* (2012) destaca um detalhe importante: nem sempre essa equação será válida, pois ela depende da posição que o objeto se encontra em relação aos espelhos. Para isso, deve-se analisar a divisão  $360^\circ/\alpha$ :

- I) Se  $360^\circ/\alpha$  for par, o objeto poderá ficar em qualquer posição entre os espelhos que a equação será válida.
- II) Se  $360^\circ/\alpha$  for ímpar, o objeto deverá ficar em cima do plano bissetor para a validade da equação.

### 3.9 Espelhos esféricos

Para Halliday e Walker (2009) alguns espelhos alteram o tamanho da imagem, quando uma pessoa se observa nele, como, por exemplo, quando uma pessoa se observa nas superfícies polidas de uma colher. Olhando-se bem próximo da parte interna da calota, ele vai perceber uma imagem aumentada. Já se a pessoa se observar pela parte externa da calota esférica, ela vai perceber uma imagem diminuída. Esses espelhos são espelhos esféricos, estão muito presentes em nosso dia a dia. Outras aplicações dos espelhos esféricos são: espelho para auxiliar o porteiro do condomínio, espelho usado pelo dentista para examinar o os dentes de um paciente, espelho de maquiagem que amplia a face. A Figura 27 representa os 2 tipos de calotas esféricas.

Figura 27 - Tipos de calotas esféricas.



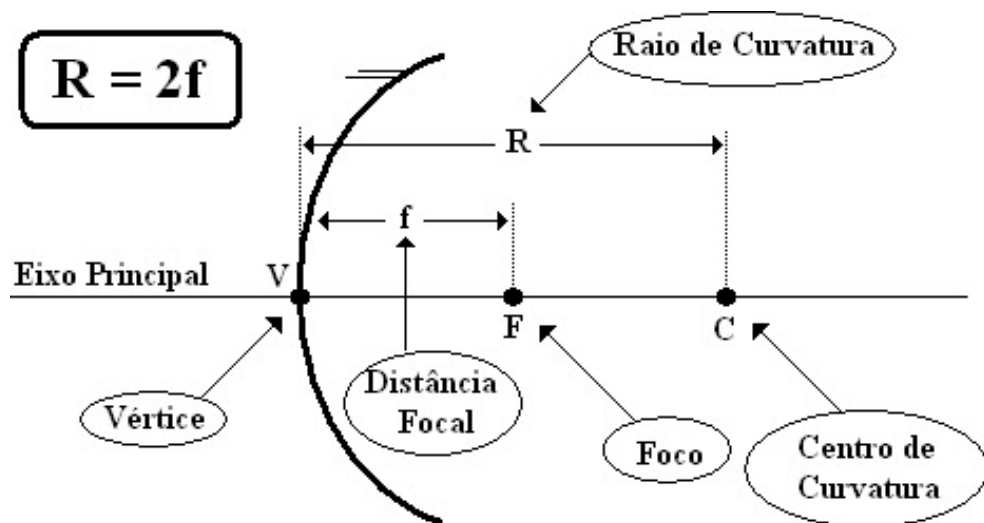
Fonte: <https://slideplayer.com.br/slide/10678497/> Acesso: 27/07/2020.

Nussenzveig (1998) destaca a representação de um espelho esférico e os seus elementos:

I) Côncavo

Espelho côncavo é mostrado na Figura 28.

Figura 28 - Espelho côncavo.

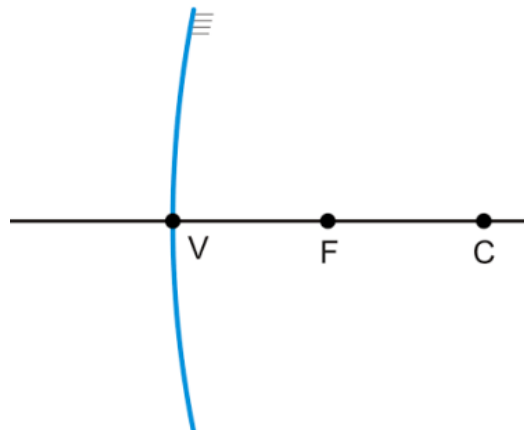


Fonte: <https://slideplayer.com.br/slide/10678497/> Acesso: 27/07/2020.

II) Convexo

O espelho convexo é mostrado na Figura 29.

Figura 29 - Espelho convexo.



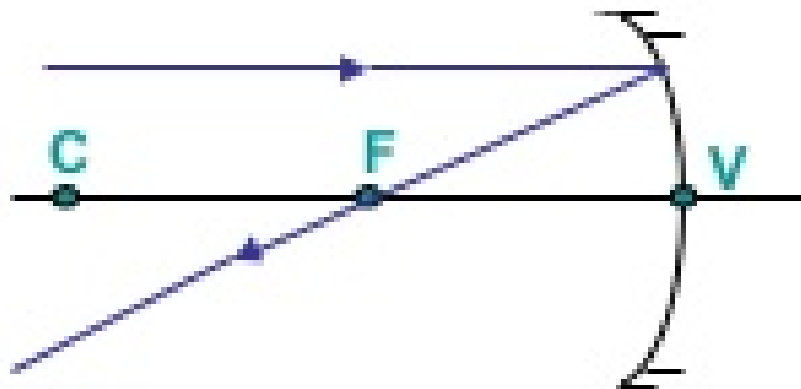
Fonte: <https://slideplayer.com.br/slide/10678497/> Acesso: 28/07/2020.

## Raios notáveis para os espelhos esféricos

### Para o espelho côncavo:

O raio traçado paralelamente ao eixo principal do espelho côncavo irá para o foco desse espelho (Figura 30).

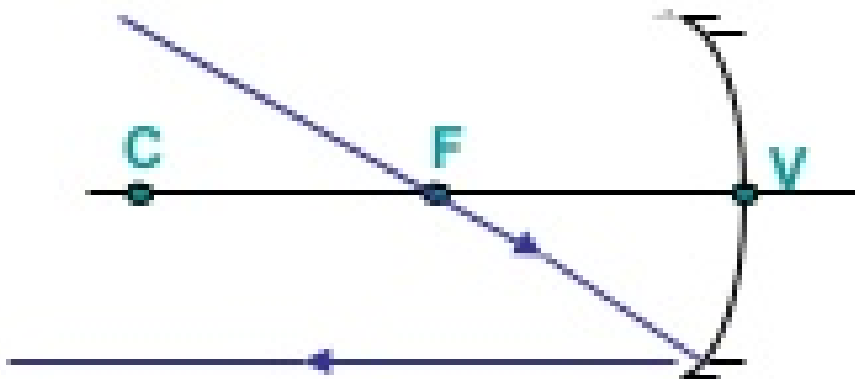
Figura 30 - Raio incidente paralelo ao eixo.



Fonte: <https://pt.slideshare.net/MariaJosMacedo/espelhos-planos-e-esfricos> Acesso: 01/08/2020.

Os estudos de Young e Freedman (2016) relembram que o comportamento dos raios de luz ao passarem pelos pontos notáveis dos espelhos esféricos. O raio de luz traçado passando pelo foco ele será refletido paralelamente ao eixo principal do espelho côncavo (Figura 31).

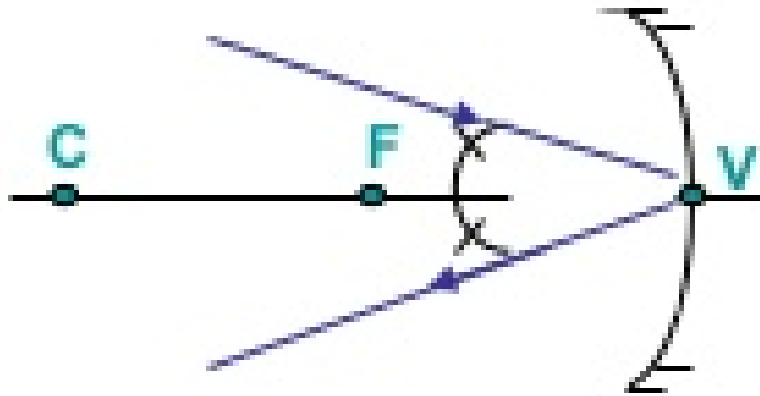
Figura 31 - Raio incidente passando pelo foco.



Fonte: <https://pt.slideshare.net/MariaJosMacedo/espelhos-planos-e-esfricos>. Acesso: 01/08/2020.

O raio traçado passando pelo vértice do espelho côncavo será refletido simetricamente em relação ao eixo principal (Figura 32).

Figura 32 - Raio incidente passando pelo vértice.

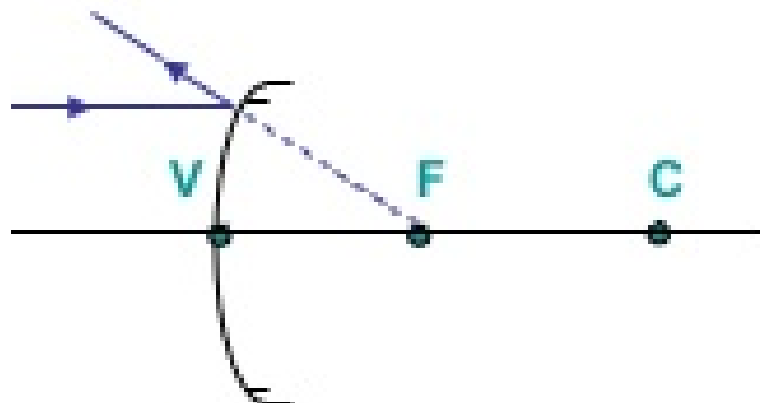


Fonte: <https://pt.slideshare.net/MariaJosMacedo/espelhos-planos-e-esfricos>. Acesso: 01/08/2020.

#### Para o espelho convexo:

O prolongamento do raio refletido, traçado paralelamente ao eixo principal do espelho convexo, irá para o foco desse espelho (Figura 33).

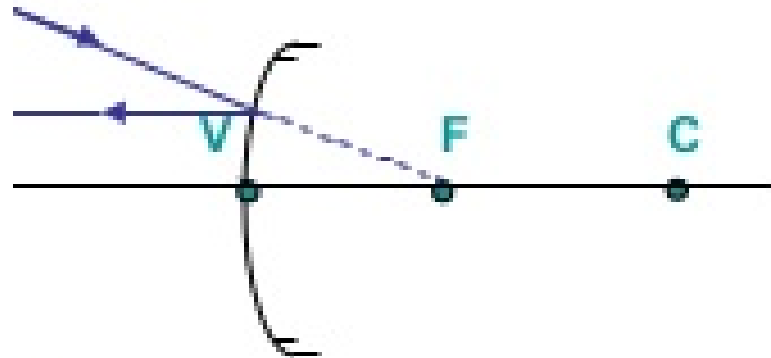
Figura 33 - Raio incidente paralelo ao eixo.



Fonte: <https://pt.slideshare.net/MariaJosMacedo/espelhos-planos-e-esfricos>. Acesso: 03/08/2020.

O raio refletido do raio incidente direcionado para o foco do espelho convexo sairá paralelamente ao eixo principal do espelho convexo (Figura 34).

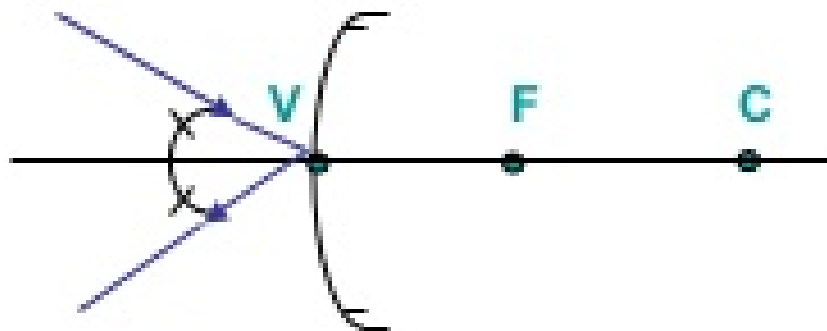
Figura 34 - Raio incidente direcionado ao foco.



Fonte: <https://pt.slideshare.net/MariaJosMacedo/espelhos-planos-e-esfricos>. Acesso: 03/08/2020.

O raio traçado passando pelo vértice do espelho convexo será refletido simetricamente em relação ao eixo principal (Figura 35).

Figura 35 - Raio incidente passando pelo vértice.



Fonte: <https://pt.slideshare.net/MariaJosMacedo/espelhos-planos-e-esfricos>. Acesso: 04/08/2020.

### Desenhos das imagens em um espelho esférico

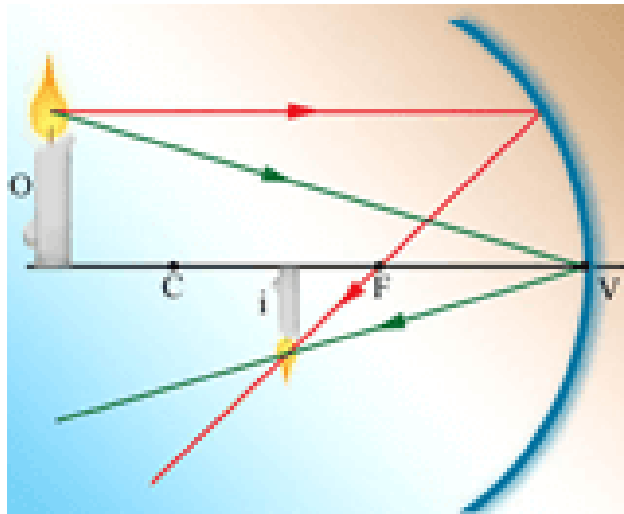
Segundo Helou *et al.* (2012), os raios notáveis serão fundamentais para a construção das imagens geradas pelos espelhos esféricos. A imagem será gerada a partir do encontro de dois raios notáveis refletido no espelho côncavo ou a partir do cruzamento dos prolongamentos dos raios refletidos no espelho convexo. Para Halliday e Walker (2009) a imagem real se forma do mesmo lado que o objeto se encontra, já a imagem virtual, se forma do lado oposto.

a) Desenhos das imagens para o espelho côncavo (5 casos)

I) Objeto antes do centro (Figura 36)



Figura 36 - Imagem de um objeto antes do centro.

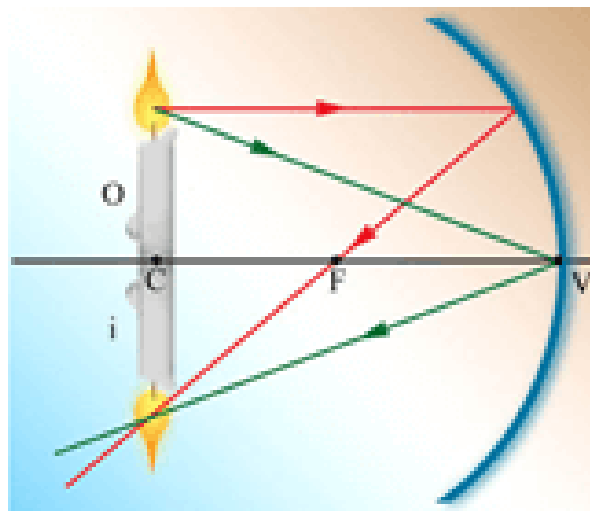


Fonte: <http://fisikanarede.blogspot.com/2014/07/formacao-de-imagem-em-espelhos.html>. Acesso: 04/08/2020.

Classificação da imagem: Real, invertida e menor do que o objeto.

II) Objeto em cima do centro de curvatura do espelho (Figura 37)

Figura 37 - Imagem de um objeto no centro.

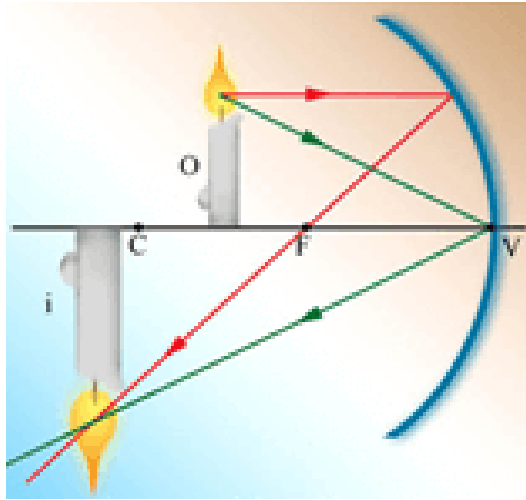


Fonte: <http://fisikanarede.blogspot.com/2014/07/formacao-de-imagem-em-espelhos.html>. Acesso: 05/08/2020.

Classificação da imagem: Real, invertida e do mesmo tamanho do objeto.

III) Objeto entre o centro e o foco (Figura 38)

Figura 38 - Imagem de um objeto entre o centro e o foco.

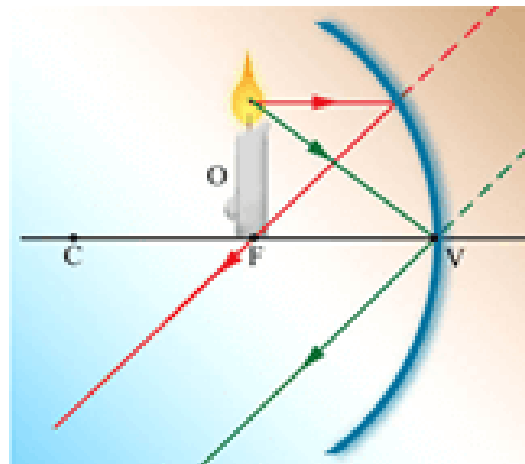


Fonte: <http://fisikanarede.blogspot.com/2014/07/formacao-de-imagem-em-espelhos.html>. Acesso: 05/08/2020.

Classificação da imagem: Real, invertida e maior do que o objeto.

IV) Objeto em cima do foco (Figura 39)

Figura 39 - Imagem de um objeto em cima do foco.



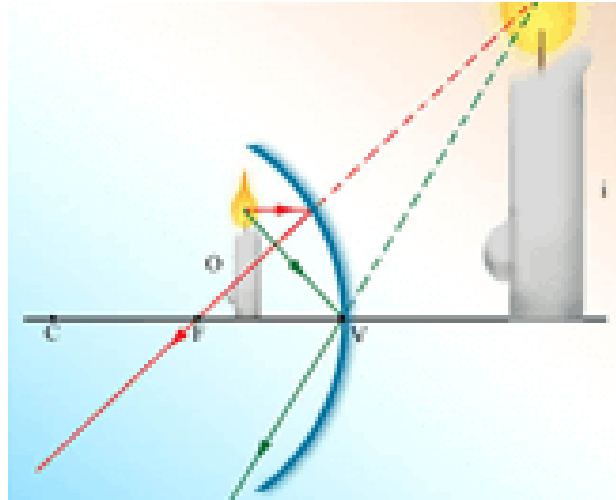
Fonte: <http://fisikanarede.blogspot.com/2014/07/formacao-de-imagem-em-espelhos.html>. Acesso: 05/08/2020.

Classificação da imagem: Imprópria

V) Objeto entre o foco e o vértice (Figura 40)

De acordo com Nussenzveig (1998) a imagem virtual é formada devido ao encontro dos prolongamentos dos raios de luz refletidos pelo espelho côncavo, conforme a figura a seguir.

Figura 40 - Imagem de um objeto entre o foco e o vértice.



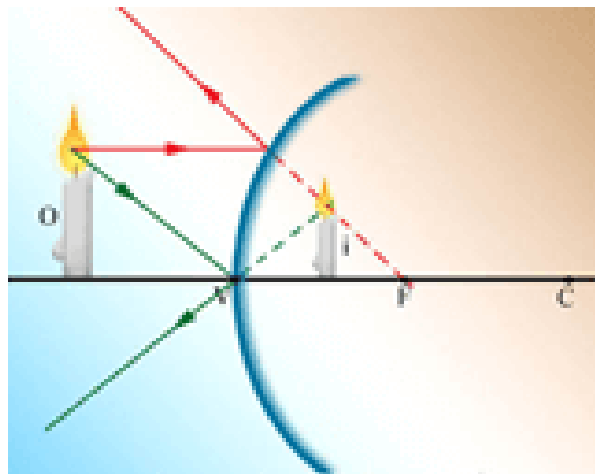
Fonte: <http://fisikanarede.blogspot.com/2014/07/formacao-de-imagem-em-espelhos.html>. Acesso: 05/08/2020.

Classificação da imagem: Virtual, direita e maior do que o objeto

b) Desenho da imagem para o espelho convexo (1 caso) (Figura 41)

Helou *et al.* (2012) relata que o espelho convexo sempre gera para um objeto real o mesmo tipo de imagem virtual.

Figura 41 - Imagem de um objeto no espelho convexo.



Fonte: <http://fisikanarede.blogspot.com/2014/07/formacao-de-imagem-em-espelhos.html>. Acesso: 06/08/2020.

Classificação da imagem: Virtual, direita e menor do que o objeto.

### **Estudo analítico dos espelhos esféricos**

Definindo algumas distâncias importantes:

Nussenzveig (1998) destaca que uma das principais funções dos espelhos esféricos é aumentar ou diminuir o tamanho da imagem. Para o estudo analítico dos espelhos esféricos, define-se as distâncias utilizadas nas equações de Gauss e do aumento linear, para efeito de representação, utiliza-se a situação em que objeto está antes do centro de curvatura (Figura 42).

“P” representa a distância do objeto ao vértice do espelho

“P’ ” representa a distância da imagem ao vértice do espelho

“f” Representa a distância focal

“O” representa a altura do objeto

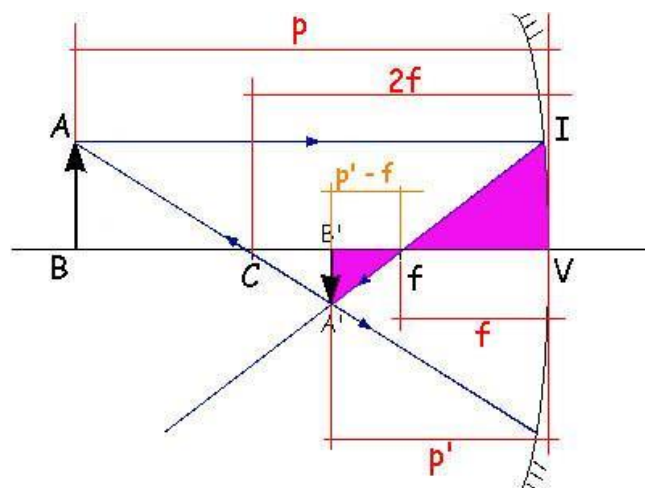
“I” representa a altura da imagem

Analisando a Figura 42, percebe-se que há uma semelhança de triângulos, da qual pode-se escrever:

Os triângulos fIV e fA'B' são semelhantes

$$\frac{i}{o} = \frac{VB'}{VB}, \text{ com } VB' = p' \text{ e } VB = p \rightarrow \frac{i}{o} = \frac{P'}{P} \quad (3.33)$$

Figura 42 - Estudo analítico dos espelhos esféricos.



Os triângulos  $fIV$  e  $fA'B'$  também são semelhantes com  $DV = o$ ,  $fB' = p' - f$  e  $FV = f$

$$\frac{i}{o} = \frac{FB'}{FB} \rightarrow \frac{i}{o} = \frac{p'-f}{f} \rightarrow P'f = PP' - Pf, \text{ dividindo-se tudo por } pp'f, \text{ teremos:}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \quad (\text{Equação de Gauss}) \quad (3.34)$$

### Aumento Linear transversal (A)

É uma comparação entre o tamanho da imagem e o tamanho do objeto. Logo, o cálculo do aumento linear será dado do seguinte modo:

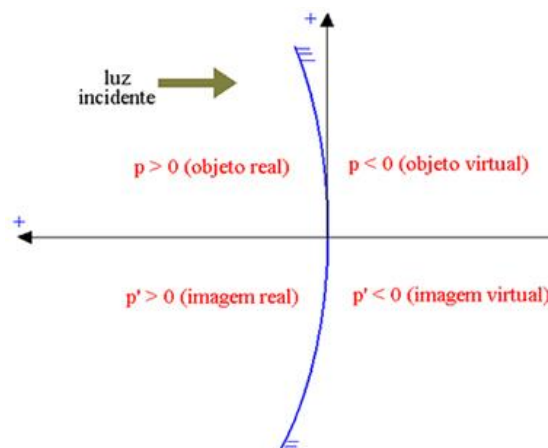
$$A = \frac{I}{o} = -\frac{p'}{p} \quad \text{ou} \quad A = \frac{p'-f}{f} \quad (\text{Equação do Aumento Linear}) \quad (3.35)$$

### Referencial de Gauss

Segundo Nussenzveig (1998), adota-se o referencial, eixo positivo, contrário ao sentido da luz incidente ao espelho, conforme a Figura 43.

Logo, quando for usar as equações de Gauss e a equação do aumento linear, deve-se fazer uso dos sinais baseado no referencial de Gauss.

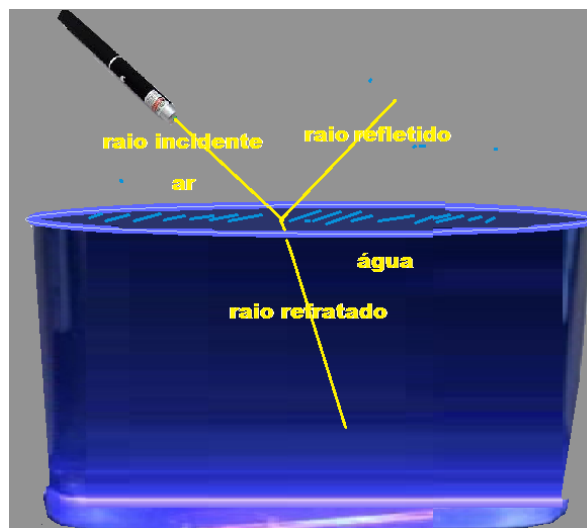
Figura 43 - Referencial de Gauss.



### 3.10 Refração luminosa

De acordo com Knight (2009) a refração luminosa ocorre quando a luz é transmitida para outro meio óptico como ocorre, por exemplo, na interface ar-vidro (Figura 44). Essa mudança de meio óptico gera uma alteração no valor da velocidade da luz, ou seja, a velocidade da luz depende do meio ao qual ela está se propagando. Não se pode esquecer que uma parcela da luz sofre reflexão, retornando ao meio de origem, que é o ar. Quando a luz sofre refração, a sua frequência permanece inalterada. Helou *et al.* (2012) destaca que no vácuo a velocidade da luz é máxima, tendo o valor aproximado de  $3 \times 10^8$  Km/s ou  $3 \times 10^8$  m/s.

Figura 44 - Refração luminosa.



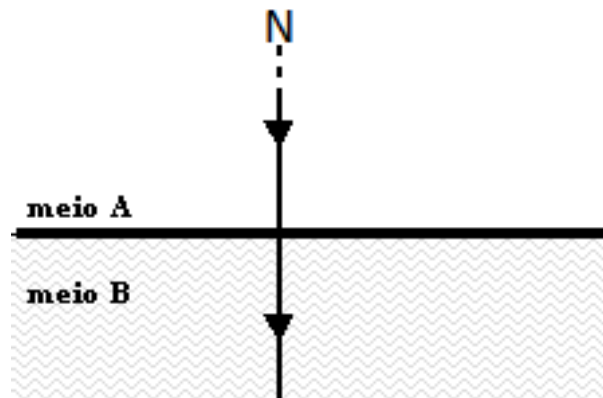
Fonte: <http://fisicaevestibular.com.br/novo/optica/optica-geometrica/refracao-luminosa/>

Acesso: 07 de agosto de 2020.

É um equívoco definir refração como sendo a mudança na direção de propagação do raio de luz, pois nem sempre isso ocorre. Observe que na incidência normal feita na Figura 45, há mudança de meio óptico, mas não mudança de direção do raio refratado.

A reta normal (N) é uma linha imaginária que deve ser traçada no ponto de incidência com o objetivo de definir os ângulos de incidência, reflexão e refração.

Figura 45 - Refração com incidência normal.



Fonte: <https://www.algosobre.com.br/fisica/refracao-da-luz.html>. Acesso: 08/08/2020.

### Índice de refração ( $n$ )

Segundo Young e Freedman (2016) o índice de refração de um meio para uma dada luz indica quantas vezes a velocidade da luz naquele meio é menor do que a velocidade da luz no vácuo. Logo, a sua definição matemática é dada pela seguinte equação:

$$n = \frac{c}{v}, \quad (3.36)$$

em que  $c = 3 \times 10^8$  m/s (velocidade da luz no vácuo). “v” representa a velocidade da luz no meio óptico em questão.

Por exemplo, vamos calcular o índice de refração da água para a luz amarela:

$$n_{\text{água}} = \frac{c}{v_{\text{água}}}. \quad (3.37)$$

Hewitt (2015) alerta que não se pode esquecer que o mesmo material, água, no caso, apresentará um índice de refração diferente para uma luz de outra cor. Logo, pode-se concluir que o índice de refração depende da cor da luz que está se propagando no meio e como cada cor de luz possui uma dada frequência, pode-se concluir que o índice de refração depende da frequência da radiação que se propaga no meio em questão.

Percebe-se facilmente que o índice de refração do vácuo é igual a 1 para qualquer radiação, pois a velocidade de propagação de todas as radiações no vácuo tem o valor  $3 \times 10^8$  m/s.

$$n_{\text{vácuo}} = \frac{c}{v_{\text{vácuo}}} \rightarrow n_{\text{vácuo}} = 1$$

Pode-se concluir também que o índice de refração para as ondas eletromagnéticas no ar é aproximadamente 1, uma vez que a velocidade das ondas eletromagnéticas no ar é aproximadamente  $3 \times 10^8$  m/s.

$$n_{ar} = \frac{c}{v_{ar}} \rightarrow n_{ar} \cong 1$$

Para efeito de resolução de questões de refração é comum considerar-se o  $n_{ar} = 1$ , salvo os casos em que a questão pede para considerar o valor aproximado.

### Índice de refração relativo ( $n_{AB}$ )

O índice de refração de um meio óptico em relação a outro meio óptico pode ser definido da seguinte forma:

$$n_{AB} = \frac{n_A}{n_B} \rightarrow n_{AB} = \frac{\frac{c}{v_A}}{\frac{c}{v_B}} \rightarrow n_{AB} = \frac{v_B}{v_A} \quad (3.38)$$

Por exemplo, pode-se calcular o índice de refração relativo da água em relação ao vidro:

$$n_{\text{água/vidro}} = \frac{n_{\text{água}}}{n_{\text{vidro}}} \quad \text{ou} \quad n_{\text{água/vidro}} = \frac{v_{\text{vidro}}}{v_{\text{água}}} \quad (3.39)$$

### Observação importante

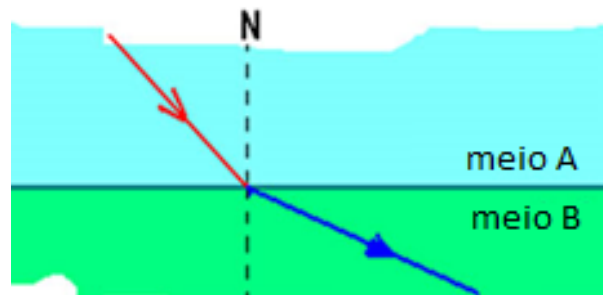
De acordo com Knight (2009), quanto maior for o índice de refração do meio para uma dada radiação, mais refringente é o meio, mais próximo da reta normal (N) ficará o raio de luz, em uma incidência oblíqua e menor será a velocidade da luz naquele dado meio óptico.

A análise das Figuras 46 e 47, a seguir, nos permite dizer qual é o meio mais refringente e onde a velocidade da luz será maior, baseando-se na proximidade da luz com a reta normal.

$$a) n_A > n_B \quad e \quad v_A < v_B$$



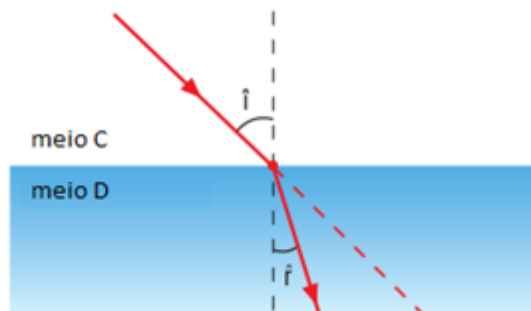
Figura 46 - Refração luminosa do meio mais refringente para o meio menos refringente.



Fonte: <https://blog.professorbrunofernandes.com.br/resumo-de-fisica-refracao-da-luz/> Acesso: 08/08/2020.

b)  $n_D > n_C$  e  $v_D < v_C$

Figura 47 - Refração luminosa do meio menos refringente para o meio mais refringente.



Fonte: <https://blog.professorbrunofernandes.com.br/resumo-de-fisica-refracao-da-luz/> Acesso: 08/08/2020.

### 3.11 Princípio de Fermat na refração

Segundo Nussenzveig (1998), o princípio de Fermat parte da lógica de que a luz sempre percorre o caminho óptico mais curto. Vale ressaltar que o caminho óptico mais curto não é necessariamente o caminho geométrico mais curto e sim o caminho que leva o menor tempo. Qual é o menor caminho óptico para a luz ir de  $P_1$  a  $P_2$  por refração na Figura 48?

Para resolver esse problema vamos considerar que ela tocará a superfície no ponto

$P$ , percorrendo o caminho óptico  $n_1 \overline{P_1P} + n_2 \overline{P_2P}$ . Os pontos  $O$  e  $Q$  representam as projeções no plano  $\pi$ . Vamos considerar as projeções:

$$\overline{P_1O} = d_1$$

$$\overline{P_2Q} = d_2$$

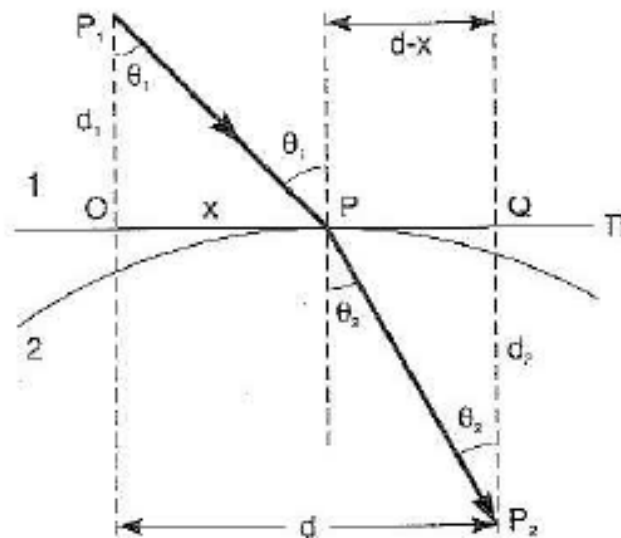
$$\overline{OQ} = d$$

$$\overline{OP} = x$$

Vamos determinar o caminho óptico  $[P_1PP_2]$ :

$$[P_1PP_2] \equiv n_1 \overline{P_1P} + n_2 \overline{PP_2} = n_1(d_1^2 + x^2)^{1/2} + n_2[d_2^2 + (d-x)^2]^{1/2} \quad (3.40)$$

Figura 48 - Princípio de Fermat na Refração



Fonte: Curso de Física Básica 4, Nussenzveig (1998).

Para calcularmos o caminho óptico mínimo, vamos derivar em relação a  $x$  e igualar a zero:

$$0 = n_1 \cdot \frac{x}{(d_1^2 + x^2)^{1/2}} - n_2 \cdot \frac{(d-x)}{[d_2^2 + (d-x)^2]^{1/2}} = n_1 \cdot \frac{x}{P_1P} - n_2 \cdot \frac{(d-x)}{PP_2} = n_1 \cdot \text{sen} \theta_1 - n_2 \cdot \text{sen} \theta_2$$

Lei de Snell:

$$0 = n_1 \cdot \text{sen} \theta_1 - n_2 \cdot \text{sen} \theta_2 \quad (3.41)$$

Percebe-se que a anulação da primeira derivada não garante ser um ponto mínimo, pois poderia ser um ponto de máximo ou uma inflexão. Esse ponto onde a derivada se anula é estacionário para pequenas variações:

$$\delta f \equiv f(x_0 + \delta x) - f(x_0) = f'(x_0)\delta x + \frac{1}{2} f''(x_0)(\delta x)^2 + \dots \quad (3.42)$$

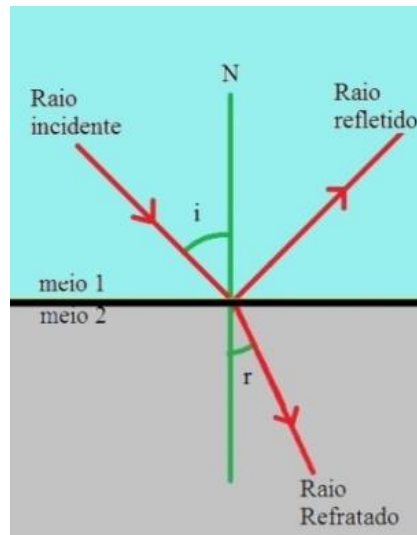
Como  $f'(x_0) = 0$

$$\delta f \equiv f(x_0 + \delta x) - f(x_0) = \frac{1}{2} f''(x_0)(\delta x)^2 + \dots \quad (3.43)$$

## Leis da refração

Baseado na Figura 49, a seguir, Helou *et al.* (2012) enuncia as duas leis da refração:

Figura 49 - Leis da Refração.



Fonte: <https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/reflexao-total-luz.htm>. Acesso: 08/08/2020.

### 1ª Lei da refração:

O raio incidente, a reta normal e o raio refratado são coplanares.

### 2ª Lei da refração (Lei de Snell – Descartes):

$n_1 \sin i = n_2 \sin r$ , como consequência, pode-se escrever:

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{v_2}{v_1} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{\sin r}{\sin i} \quad (3.44)$$

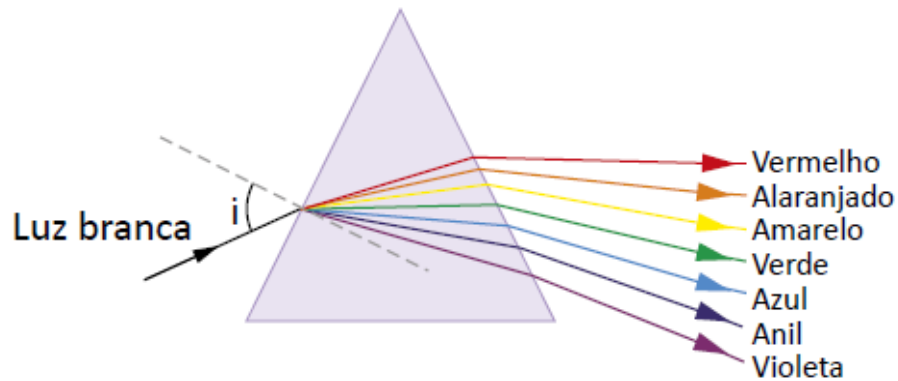
Vale a pena ressaltar que a frequência da luz permanece constante na refração, não sofrendo assim, nenhuma modificação.

## Dispersão da luz branca

Segundo Young e Freedman (2016), a velocidade da luz no vácuo é a mesma para todos os comprimentos de onda, mas, em um dado meio material, a velocidade da luz varia para cada comprimento de onda. A luz solar é policromática e composta pela seguinte sequência de cores (Figura 50): vermelho, alaranjado, amarelo, verde, azul, anil e violeta.

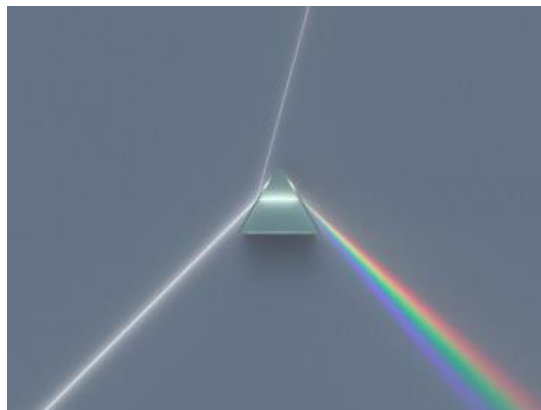
a)

Figura 50 - Esquema da dispersão da luz branca no prisma.

Fonte: <https://interna.coceducacao.com.br/ebook/pages/1676.htm>. Acesso: 09/08/2020.

b)

Figura 51 - Dispersão da luz branca no prisma.

Fonte: <http://museuvirtual-fisica.blogspot.com/2017/08/dispersao-da-luz-branca.html>. Acesso: 09/08/2020.

Analisando-se a Figura 51, Young e Freedman (2016) destacam que a luz que sofreu o menor desvio foi a luz de cor vermelha e a luz que sofreu o maior desvio foi a luz de cor violeta. Observando atentamente a figura “a”, nota-se que a luz vermelha ficou mais distante da reta normal (linha pontilhada), já a luz violeta, foi aquela que ficou mais próximo da reta normal (linha pontilhada). Desse exposto, pode-se concluir que no prisma da Figura 51, as seguintes desigualdades:

$$n_{\text{vermelho}} < n_{\text{laranja}} < n_{\text{amarelo}} < n_{\text{verde}} < n_{\text{azul}} < n_{\text{anil}} < n_{\text{violeta}}$$

$$V_{\text{vermelho}} > V_{\text{laranja}} > V_{\text{amarelo}} > V_{\text{verde}} > V_{\text{azul}} > V_{\text{anil}} > V_{\text{violeta}}$$

Não se pode esquecer que no vácuo a desigualdade acima fica da seguinte maneira:

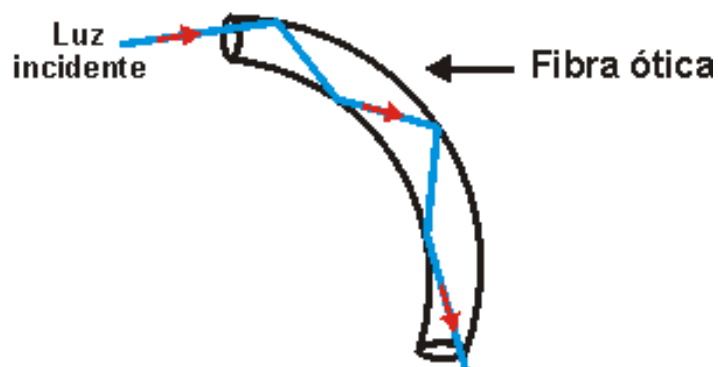
$$n_{\text{vermelho}} = n_{\text{laranja}} = n_{\text{amarelo}} = n_{\text{verde}} = n_{\text{azul}} = n_{\text{anil}} = n_{\text{violeta}}$$

$$V_{\text{vermelho}} = V_{\text{laranja}} = V_{\text{amarelo}} = V_{\text{verde}} = V_{\text{azul}} = V_{\text{anil}} = V_{\text{violeta}}$$

## Reflexão total da luz

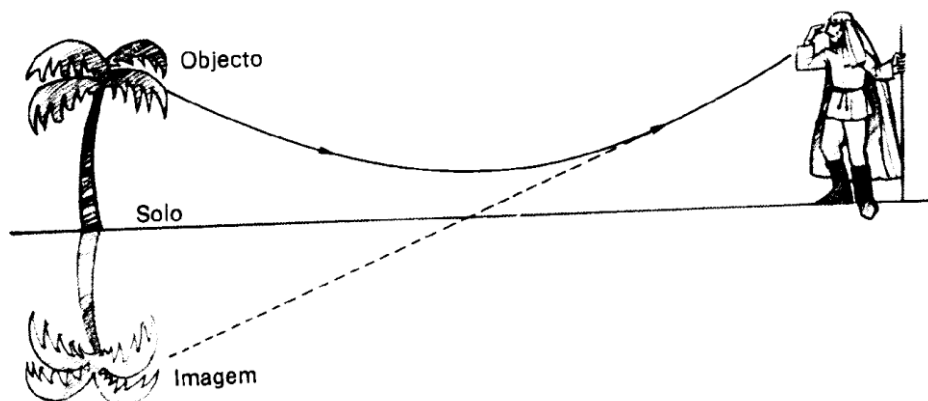
Nussenzveig (1998) ressalta que a reflexão total da luz é um fenômeno que explica o funcionamento da fibra óptica e de algumas situações de miragens no deserto devido a alteração do índice de refração nas camadas da atmosfera.

Figura 52 - Reflexão total na fibra óptica.



Fonte: <https://blogdoenem.com.br/reflexao-total-da-luz-e-refracao-fisica-enem/> Acesso: 10/08/2020.

Figura 53 - Miragem.



Fonte: <https://slideplayer.com.br/slide/10695332/> Acesso: 10/08/2020.

De acordo com Halliday e Walker (2009) para que a luz sofra reflexão total, ela deve satisfazer a duas condições simultaneamente:

1ª condição:

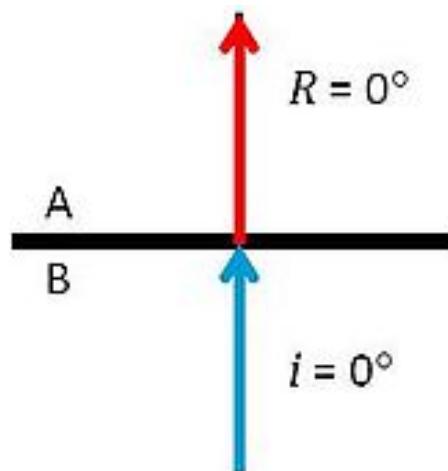
A luz deve ir do meio mais refringente para o meio menos refringente.

2ª condição:

O ângulo de incidência deve ser maior do que o ângulo limite.

Para compreender as condições para ocorrer reflexão total da luz, faz-se a incidência com o menor ângulo possível, em seguida, aumenta-se gradativamente o ângulo de incidência, conforme as Figuras 54, 55 e 56.

Figura 54 - Incidência com ângulo de incidência nulo.



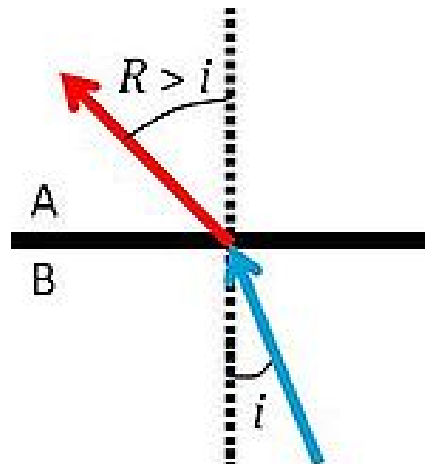
Fonte: <https://psicod.org/resoluco-pef-022009.html?page=12> Acesso: 10/08/2020.

Percebe-se pela Figura 55 que, à medida que o ângulo de incidência vai aumentando, o ângulo de refração vai aumentando mais ainda, pois o meio B é mais refringente do que o meio A.

Haverá um ângulo de incidência ao qual o raio refratado sairá rasante, conforme a Figura 56. Esse ângulo de incidência é denominado de ângulo limite.

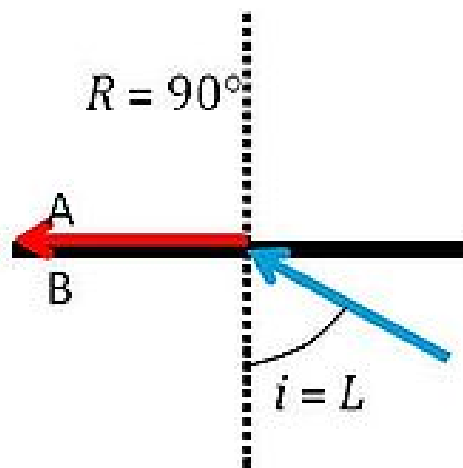
Caso se faça uma incidência com ângulo de incidência maior do que o ângulo limite, a luz sofrerá reflexão total.

Figura 55 - Incidência com ângulo um pouco maior do que zero.



Fonte: <https://psicod.org/resoluco-pef-022009.html?page=12> Acesso: 10/08/2020.

Figura 56 - Incidência com ângulo limite.



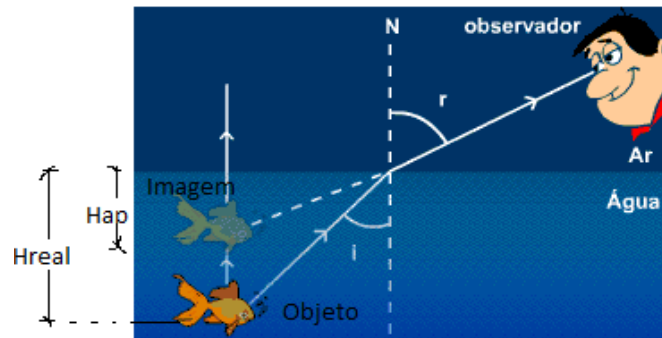
Fonte: <https://psicod.org/resoluco-pef-022009.html?page=12> Acesso: 11/08/2020.

## Dióptro Plano

Segundo Hewitt (2015), quando se tenta enxergar um objeto através de um dióptro plano (Figura 57), não se consegue enxergar o objeto de fato, em sua posição real, mas sim a imagem desse objeto, em uma posição aparente mais próxima. Caso o objeto esteja na mesma linha vertical, ou bem próximo da vertical, pode-se utilizar a seguinte equação:

$$\frac{H_{\text{aparente}}}{H_{\text{Real}}} = \frac{n_{\text{observador}}}{n_{\text{objeto}}} \quad (3.46)$$

Figura 57 - Dioptro plano.



Fonte: [https://culturalivre.com/refracao\\_da\\_luz\\_lei\\_de\\_snell\\_o\\_que\\_e\\_refracao\\_reflexao\\_total/](https://culturalivre.com/refracao_da_luz_lei_de_snell_o_que_e_refracao_reflexao_total/) Acesso: 11/08/2020.

### Lâmina de Faces Paralelas

Knight (2009) destaca que a lâmina de faces paralelas ocorre quando se têm 3 meios homogêneos e transparentes, separados por duas superfícies planas e paralelas. Ao incidir o raio de luz, percebe-se que a luz sofrerá 2 refrações, uma na primeira face, interface ar-vidro, por exemplo, e uma segunda refração, na interface, vidro-ar (Figura 58).

Figura 58 - Lâmina de faces paralelas.



Fonte: <https://fisicaevestibular.com.br/novo/formulario/optica-geometrica-laminas-de-faces-paralelas/> Acesso: 11/08/2020.

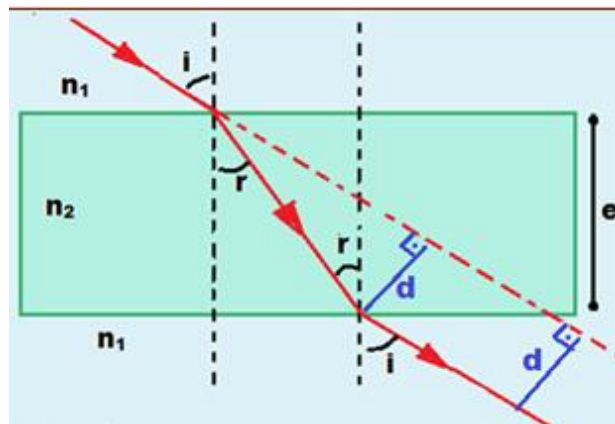
Perceba que se os meios 1 e 3 forem os mesmos, os raios incidentes na primeira face e o raio emergente da lâmina, na segunda face, serão paralelos. Nesse caso (Figura 59), é possível calcular o desvio lateral sofrido pela luz:

A equação do desvio lateral é dada por:

$$d = \frac{e \cdot \sin(i - r)}{\cos r} \quad (3.47)$$



Figura 59 - Esquema da lâmina de faces paralelas.

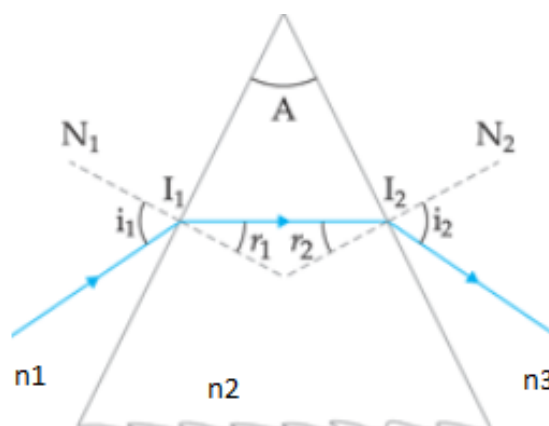


Fonte: <https://fisicaevestibular.com.br/novo/formulario/optica-geometrica-laminas-de-faces-parallelas/>  
Acesso: 11/08/2020.

## Prisma

Ainda citando Knight (2009), Isaac Newton dispersou a luz solar e depois reagrupou a os raios de luz, passando a ter novamente um feixe de luz branca. Segundo Helou *et al.* (2012), como as superfícies não são paralelas, naturalmente, elas vão se encontrar em um local, formando, assim, um determinado ângulo, que será representado pela letra “A”, denominado Ângulo de refringência do prisma (Figura 60).

Figura 60 - Ângulos de um prisma.



Fonte: <https://www.obaricentrodamente.com/2010/04/prismas-opticos.html>. Acesso: 12/08/2020.

Pela disposição dos ângulos na Figura 61, pode-se defini-los, da seguinte forma:

A: ângulo de refringência do prisma.

$i_1$ : ângulo de incidência na 1ª face do prisma

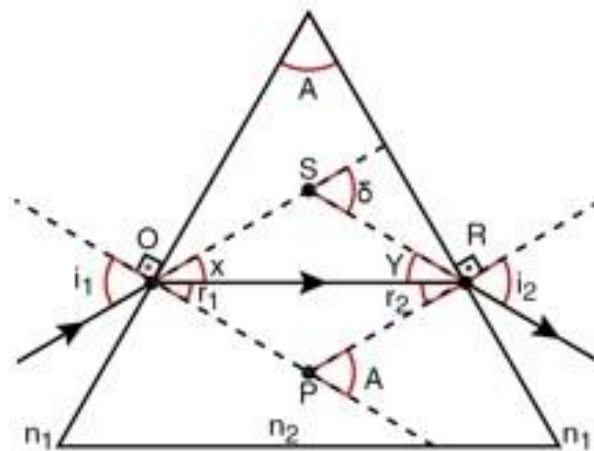
$r_1$ : ângulo de refração na 1ª face do prisma

$r_2$ : ângulo de incidência na 2ª face do prisma

$i_2$ : ângulo de refração na 2ª face do prisma (ou ângulo de emergência do prisma)

Relações matemáticas do prisma de refração

Figura 61 - Relações entre os ângulos de um prisma.



Fonte: <https://como-funciona.com/prismas/> Acesso: 13/08/2020.

Pode-se usar a Lei de Snell em ambas as faces do prisma:

Na 1ª face:  $n_1 \text{sen} i_1 = n_2 \text{sen} r_1$

Na 2ª face:  $n_2 \text{sen} r_2 = n_3 \text{sen} i_2$

De acordo com Halliday e Walker (2009), prolongando-se as retas normais, elas se encontrarão e formarão um ângulo  $A$ , externo ao triângulo  $POR$ . Usando-se a propriedade do ângulo externo, pode-se escrever:

$$A = r_1 + r_2 \quad (3.48)$$

Prolongando-se os raios incidente na 1ª face e o raio refratado na 2ª face, eles se encontrarão e formarão um determinado ângulo, denominado, desvio angular do raio de luz:

$$\delta = X + Y$$

Mas, como  $X = i_1 - r_1$  e  $Y = i_2 - r_2$ , logo, pode-se escrever:

$\delta = i_1 - r_1 + i_2 - r_2$ , organizando-se a equação, pode-se escrevê-la da seguinte forma:

$$\delta = i_1 + i_2 - (r_1 + r_2) \text{ ou } \delta = i_1 + i_2 - A \quad (3.49)$$

Condições para que o desvio angular seja mínimo ( $\delta_{\min}$ ) (Figura 62):

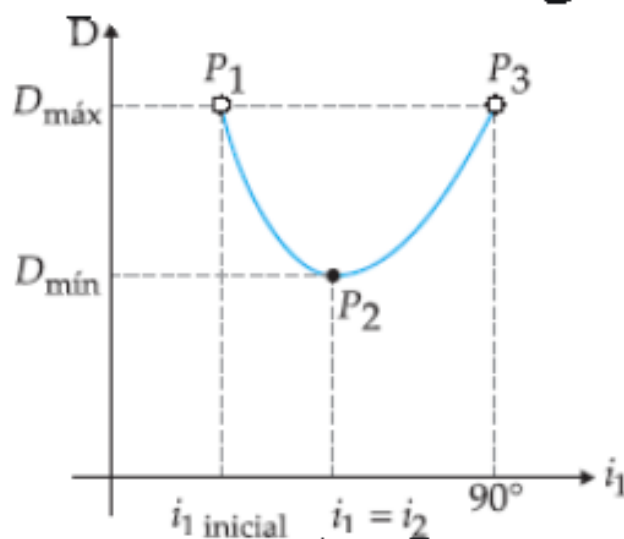
1ª condição:  $i_1 = i_2 = i$

2ª condição:  $r_1 = r_2 = r$

Como  $\delta = i_1 + i_2 - (r_1 + r_2)$ , usando as condições, teremos:

$$\delta_{\min} = 2.i - 2.r \quad (3.50)$$

Figura 62 - Gráfico do desvio angular mínimo.



Fonte: <https://www.alfaconnection.pro.br/fisica/luz/diotricos/trajeto-do-raio-luminoso-em-prismas/> Acesso: 13/08/2020.

### 3.12 Lentes esféricas

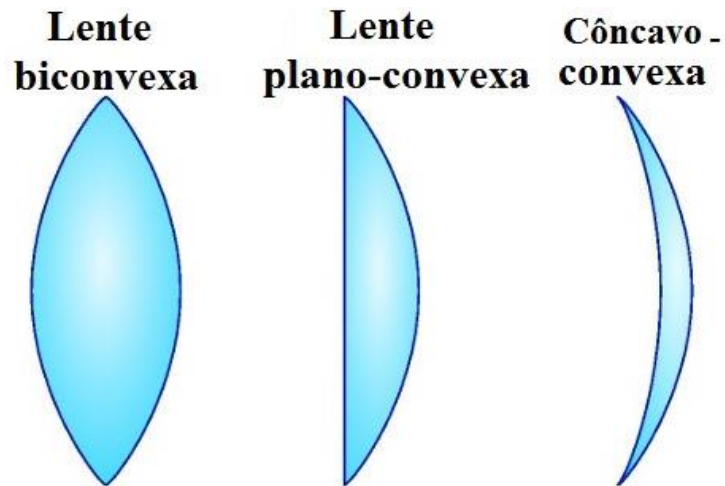
#### Tipos de lente

Helou *et al.* (2012) destaca que o nome da lente é feito colocando-se o nome da face de maior raio, seguido do nome da face de menor raio. Dessa forma, têm-se lentes de

borda fina e lentes de borda grossa (Figura 63 e 64). Um fato que facilita a nomenclatura das lentes esféricas: percebe-se que as lentes de borda fina terminam com o nome convexa, já as lentes de borda grossa, terminam com o nome côncavo.

#### I) Lentes de borda fina

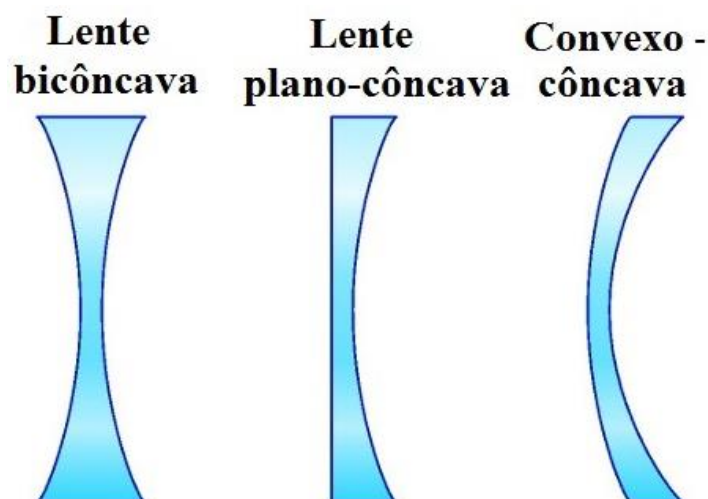
Figura 63 - Lentes esféricas de borda fina.



Fonte: <https://blogdoenem.com.br/lentes-esfericas-fisica-enem/> Acesso: 13/08/2020.

#### II) Lentes de borda grossa

Figura 64 - Lentes esféricas de borda grossa



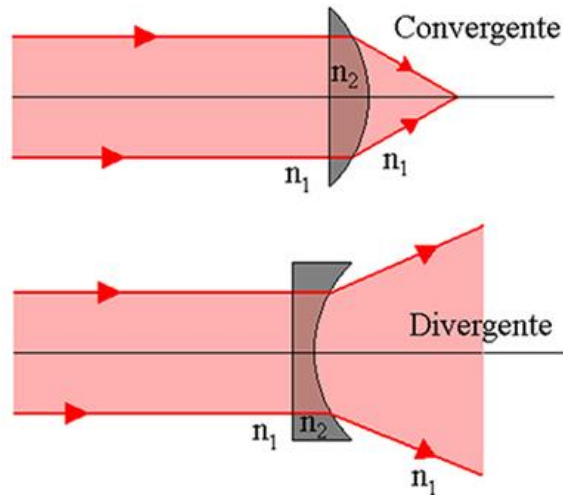
Fonte: <https://blogdoenem.com.br/lentes-esfericas-fisica-enem/> Acesso: 13/08/2020.

Knight (2009) enfatiza que o comportamento óptico de uma lente esférica depende do material da lente e do meio onde ela vai ser inserida.

I) Se  $n_{\text{lente}} > n_{\text{meio}}$

Nesse caso, a lente de borda fina terá um caráter convergente e a lente de borda grossa terá um caráter divergente (Figura 65). Vale ressaltar que geralmente é essa situação que ocorre na prática.

Figura 65 - Comportamento óptico das lentes esféricas quando  $n_{\text{lente}} > n_{\text{meio}}$ .

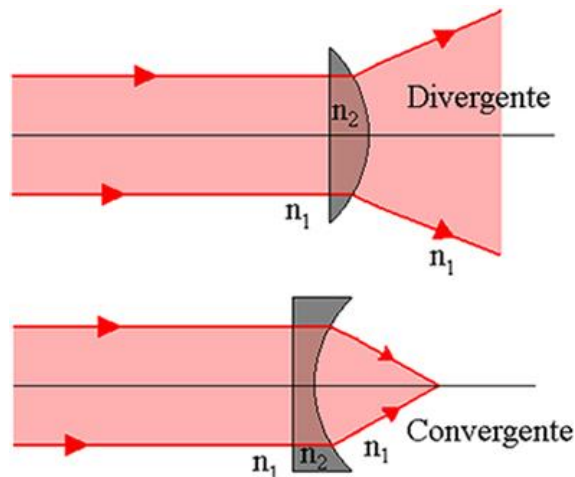


Fonte: <https://www.preparaenem.com/fisica/comportamento-optico.htm>. Acesso: 14/08/2020.

II) Se  $n_{\text{lente}} < n_{\text{meio}}$

Nesse caso, a lente de borda grossa terá um caráter convergente e a lente de borda fina terá um caráter divergente (Figura 66).

Figura 66 - Comportamento óptico das lentes esféricas quando  $n_{\text{lente}} < n_{\text{meio}}$ .



Fonte: <https://www.preparaenem.com/fisica/comportamento-optico.htm>. Acesso: 14/08/2020.

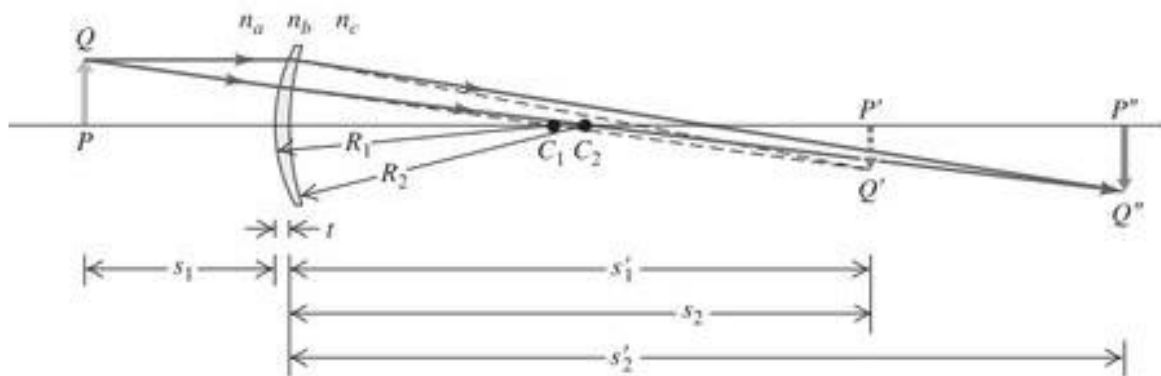
### 3.13 Equação dos fabricantes de lentes

Para Young e Freedman (2016), o princípio básico para a dedução da equação dos fabricantes de lentes é de que a imagem gerada por uma das faces servirá como objeto para a formação da imagem na outra face (Figura 67). Nesse caso,  $s_1$  e  $s'_1$  são as distâncias do objeto e da imagem em relação à primeira face e na segunda face,  $s_2$  e  $s'_2$ . Considerando-se  $t$  desprezível, pode-se dizer que  $s_2$  e  $s'_1$  possuem o mesmo módulo, porém com sinais contrários, logo, pode-se dizer que  $s_2 = -s'_1$ . Usando-se duas vezes a equação da superfície única, teremos:

$$\frac{n_a}{s_1} + \frac{n_b}{s'_1} = \frac{n_b - n_a}{R_1} \quad (3.51)$$

$$\frac{n_b}{s_2} + \frac{n_c}{s'_2} = \frac{n_c - n_b}{R_2} \quad (3.52)$$

Figura 67 - Formação de uma imagem em uma lente esférica.



Fonte: Física IV - Óptica e Física Moderna - Young e Freedman (2016).

Se o primeiro e o terceiro meios forem iguais ao vácuo, teremos  $n_a = n_c = 1$ . Vamos chamar o  $n_b$  de  $n$  apenas, dessa forma, a equação ficará:

$$\frac{1}{s_1} + \frac{n}{s'_1} = \frac{n - 1}{R_1}$$

$$-\frac{n}{s_1} + \frac{1}{s_2} = \frac{1 - n}{R_2}$$

Resolvendo o sistema, teremos:

$$\frac{1}{s_1} + \frac{1}{s_2} = (n-1)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)$$

Chamando-se  $s_1$  de  $p$  e  $s_2$  de  $p'$ , podemos escrever:

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{p'} = (n-1)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)$$

$$\frac{1}{f} = (n-1)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right) \quad (\text{Equação dos fabricantes de lentes}) \quad (3.53)$$

### Representação de uma lente delgada

As partes de uma lente delgada convergente (Figura 68) e divergente (Figura 69) são:

O: Centro óptico

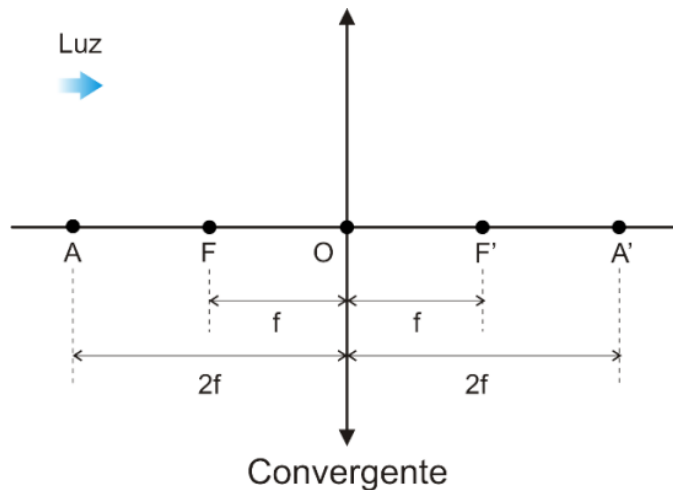
A e A': São os antiprincipais

F e F': São os focos

Vale a pena ressaltar que nas lentes esféricas a distância focal de um lado e do outro são iguais a  $f$ .

I) Convergente

Figura 68 - Representação de uma lente delgada convergente.

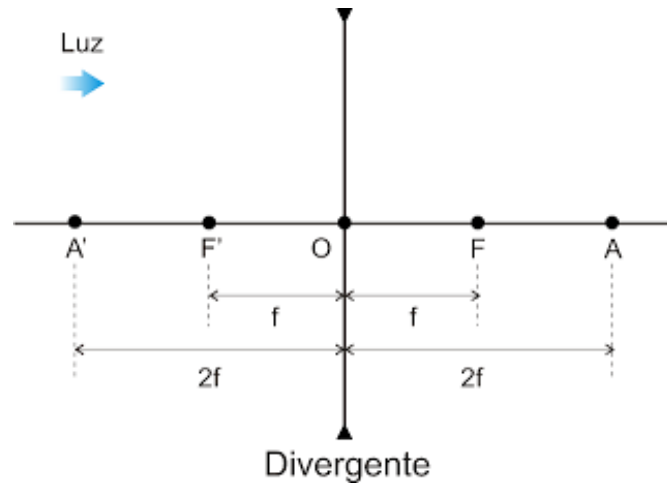


Fonte: [http://osfundamentosdafisica.blogspot.com/2016/10/cursos-do-blog-termologia-optica-e-ondas\\_18.html](http://osfundamentosdafisica.blogspot.com/2016/10/cursos-do-blog-termologia-optica-e-ondas_18.html)

Acesso: 15/08/2020.

## II) Divergente

Figura 69 - Representação de uma lente delgada divergente.



Fonte: [http://osfundamentosdafisica.blogspot.com/2016/10/cursos-do-blog-termologia-optica-e-ondas\\_18.html](http://osfundamentosdafisica.blogspot.com/2016/10/cursos-do-blog-termologia-optica-e-ondas_18.html) Acesso: 15/08/2020.

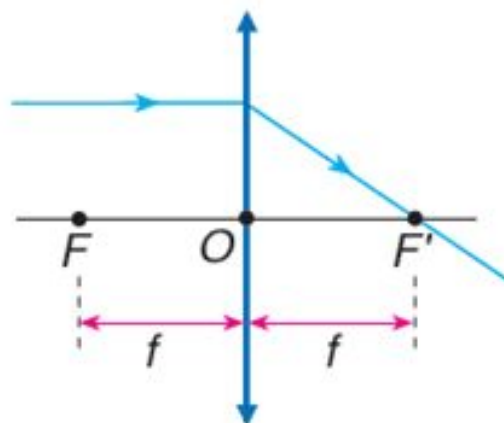
### Raios notáveis nas lentes delgadas

Young e Freedman (2016) destacam que os raios notáveis são essenciais para a construção das imagens em uma lente esférica.

I) Para lente convergente:

a) Raio de luz paralelo ao eixo óptico (Figura 70), refrata passando pelo foco da lente.

Figura 70 - Raio notável paralelo ao eixo.

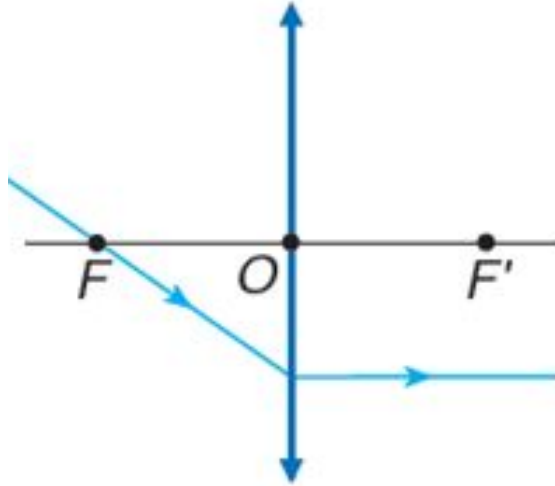


Fonte: <https://slideplayer.com.br/slide/363437/> Acesso: 15/08/2020.



b) Raio de luz passando pelo foco (Figura 71), refrata saindo paralelamente ao eixo.

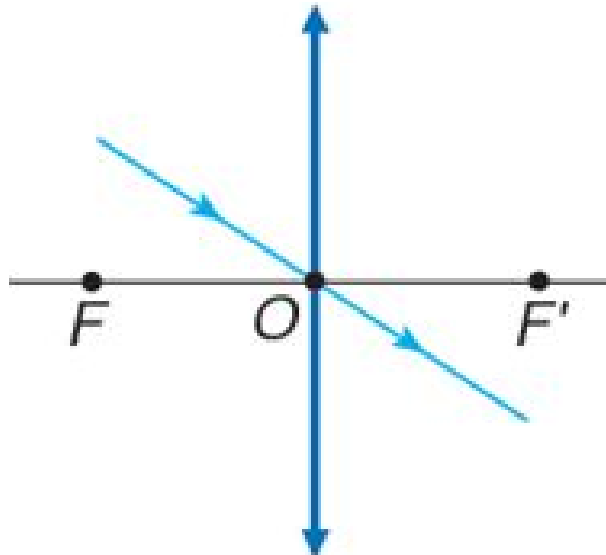
Figura 71 - Raio notável passando pelo foco.



Fonte: <https://slideplayer.com.br/slide/363437/> Acesso: 15/08/2020.

c) Raio de luz passando pelo centro óptico (Figura 72), refrata seguindo a mesma direção do raio de luz incidente.

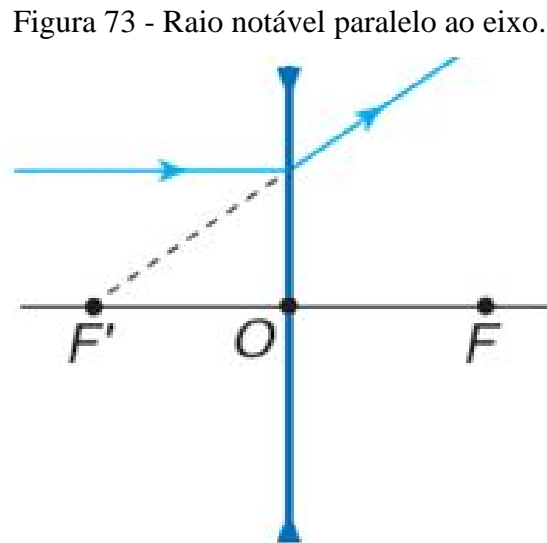
Figura 72 - Raio notável passando pelo centro óptico.



Fonte: <https://slideplayer.com.br/slide/363437/> Acesso: 16/08/2020.

II) Para a lente divergente

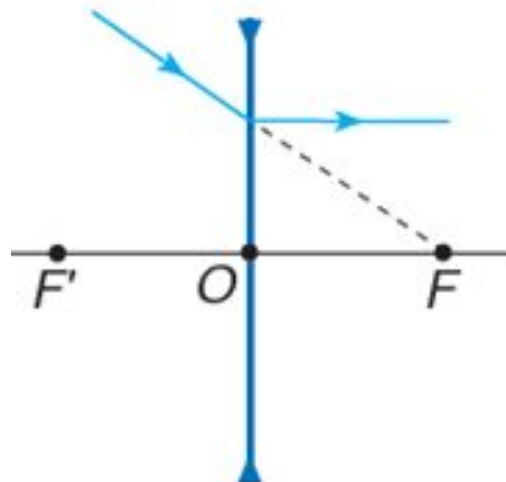
a) Raio de luz paralelo ao eixo óptico (Figura 73) é refratado de tal modo que o prolongamento do raio refratado passa pelo foco.



Fonte: <https://slideplayer.com.br/slide/363437/> Acesso: 16/08/2020.

b) Raio de luz direcionado ao foco da lente divergente é refratado saindo paralelamente ao eixo óptico da lente (Figura 74).

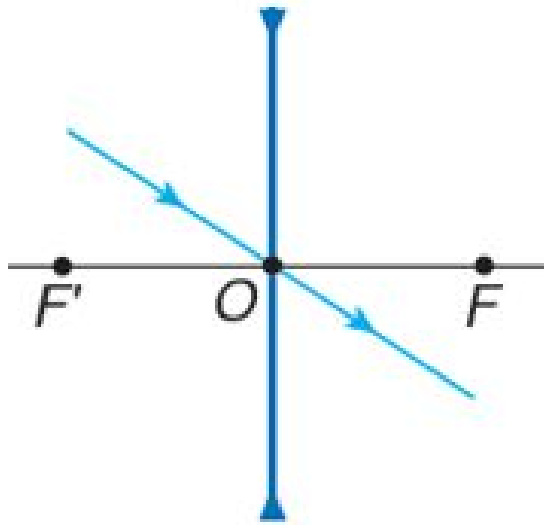
Figura 74 - Raio notável direcionado ao foco.



Fonte: <https://slideplayer.com.br/slide/363437/> Acesso: 17/08/2020.

c) Raio de luz passando pelo centro óptico (Figura 75), refrata seguindo a mesma direção do raio de luz incidente.

Figura 75 - Raio notável passando pelo centro óptico.



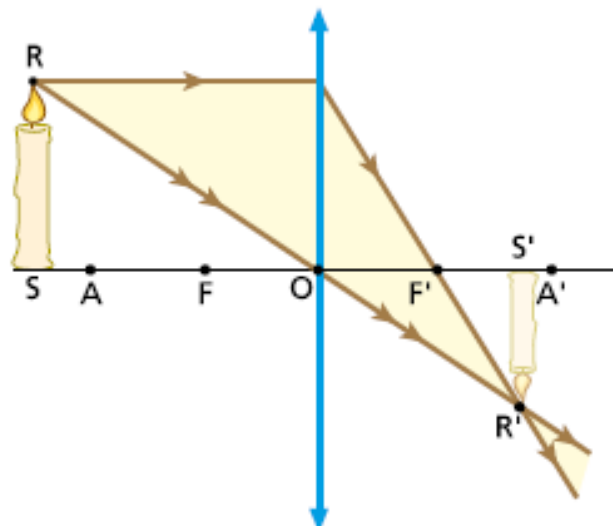
Fonte: <https://slideplayer.com.br/slide/363437/> Acesso: 18/08/2020.

Young e Freedman (2016) destaca os desenhos das imagens nas lentes esféricas.

I) Lente convergente (5 casos):

a) Objeto antes do antiprincipal (Figura 76):

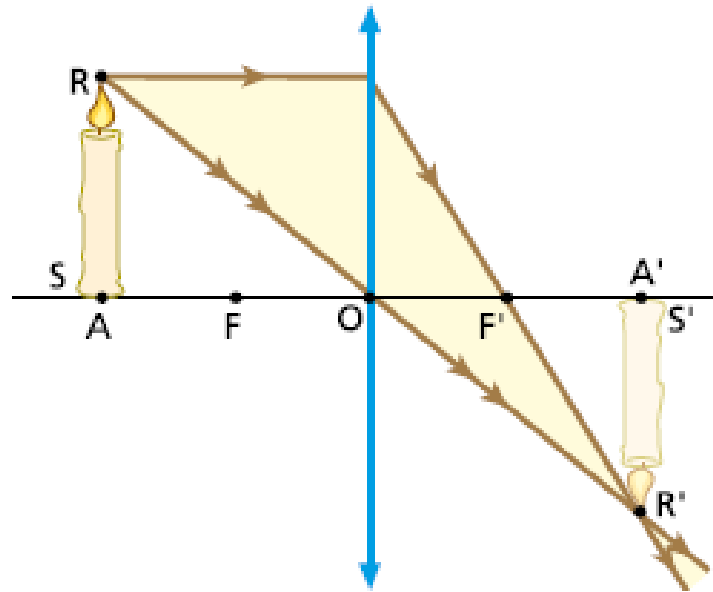
Figura 76 - Imagem de um objeto antes do antiprincipal.



Fonte: Conecte Física, volume 2 – Bôas *et al.* (2011).

b) Objeto em cima do antiprincipal (Figura 77):

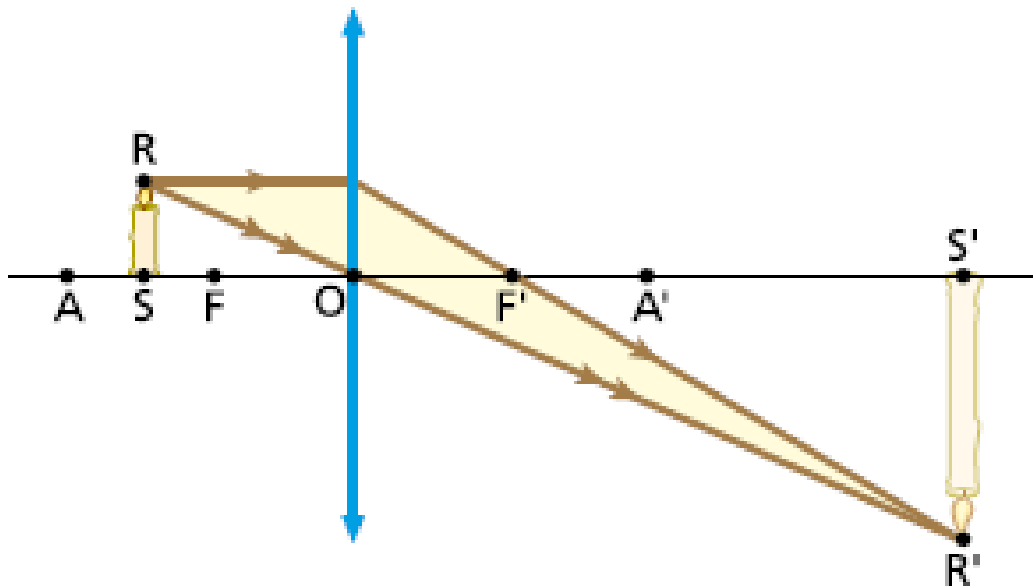
Figura 77 - Imagem de um objeto no antiprincipal.



Fonte: Conecte Física, volume 2 – Bôas *et al.* (2011).

c) Objeto entre o antiprincipal e o foco (Figura 78):

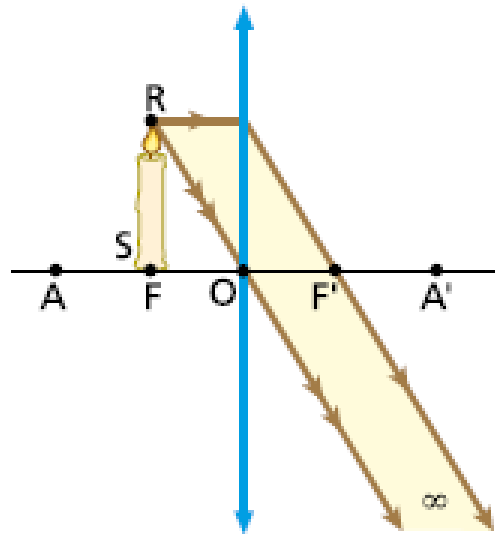
Figura 78 - Imagem de um objeto entre o antiprincipal e o foco.



Fonte: Conecte Física, volume 2 – Bôas *et al.* (2011).

d) Objeto no foco (Figura 79):

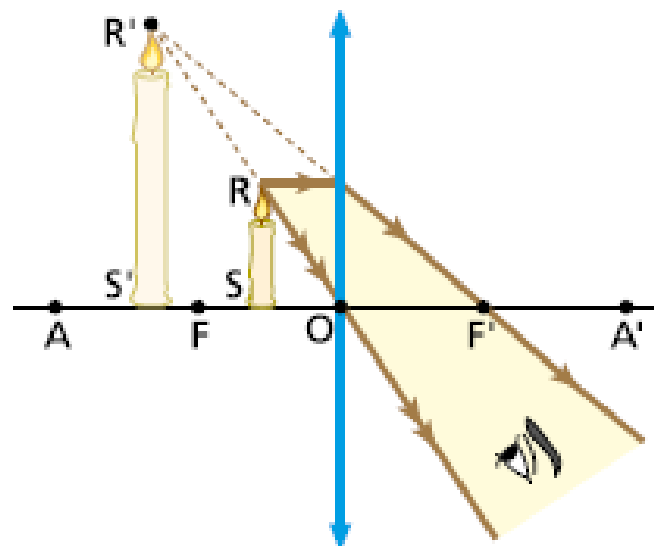
Figura 79 - Imagem de um objeto no foco.



Fonte: Conecte Física, volume 2 – Bôas *et al.* (2011).

e) Objeto entre o foco e o centro óptico da lente (Figura 80):

Figura 80 - Imagem de um objeto entre o foco e o centro óptico.

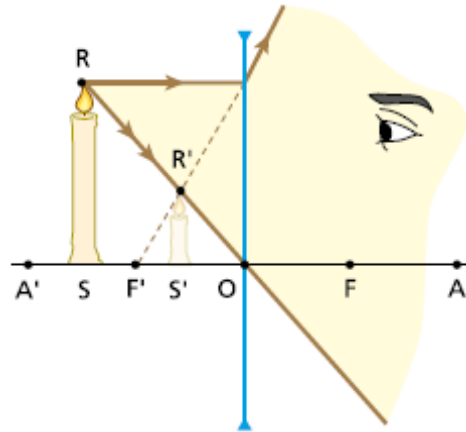


Fonte: Conecte Física, volume 2 – Bôas *et al.* (2011).

II) Lente divergente (1 caso) (Figura 81):

O objeto poderá ficar em qualquer posição que irá gerar sempre o mesmo tipo de imagem.

Figura 81 - Imagem de um objeto em uma lente divergente.



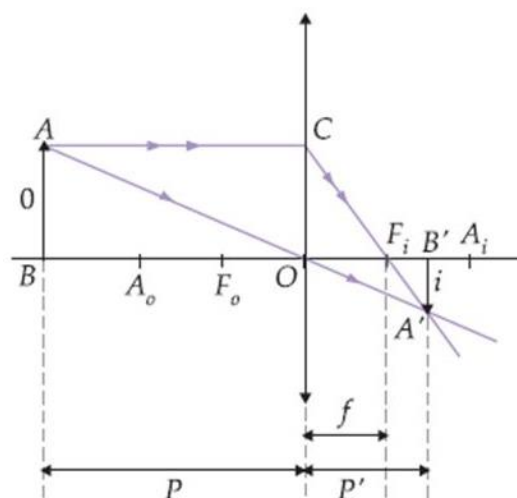
Fonte: Conecte Física, volume 2 – Bôas *et al.* (2011).

### Estudo analítico das lentes esféricas

#### Definindo algumas distâncias importantes

Para a definição das distâncias utilizadas no estudo analítico das lentes esféricas, vamos escolher um dos casos de imagem gerada (Figura 82). Vamos considerar, para efeito de representação, a situação em que objeto está antes do antiprincipal da lente.

Figura 82 - Estudo analítico de Gauss.



Fonte: <https://interna.coceducacao.com.br/ebook/pages/1684.htm>. Acesso: 19/08/2020.

“ $p$ ” representa a distância do objeto ao eixo óptico da lente

“ $p'$ ” representa a distância da imagem ao eixo óptico da lente

“ $f$ ” Representa a distância focal

“ $O$ ” representa a altura do objeto

“ $I$ ” representa a altura da imagem

### **Equações para as lentes esféricas delgadas**

As equações a serem utilizadas são as mesmas dos espelhos esféricos:

#### **Equação de Gauss:**

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \quad (3.54)$$

#### **Equação do aumento Linear (A):**

É uma comparação entre o tamanho da imagem e o tamanho do objeto. Logo, o cálculo do aumento linear será dado do seguinte modo:

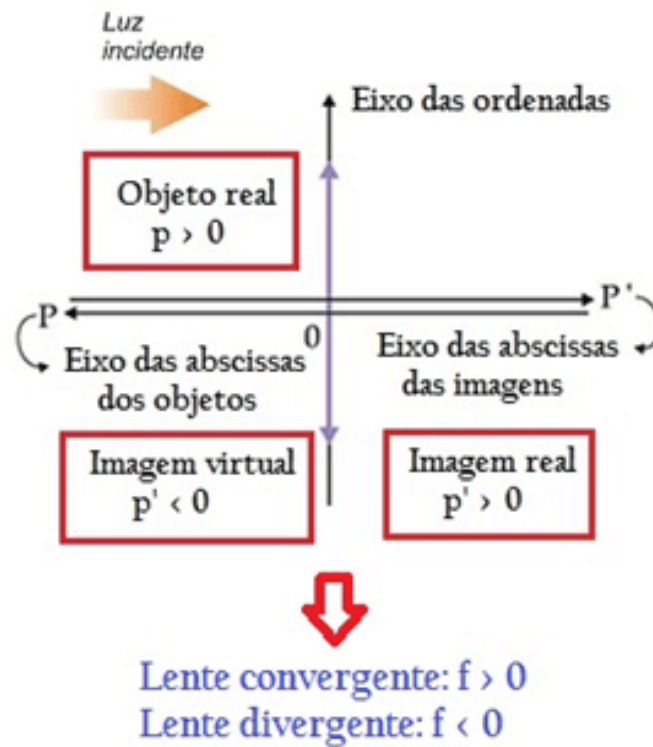
$$A = \frac{I}{O} = -\frac{p'}{p} \quad \text{ou} \quad A = \frac{p'-f}{f} \quad (\text{Equação do Aumento Linear}) \quad (3.55)$$

### **Referencial de Gauss para as lentes esféricas delgadas**

Diferentemente dos espelhos, Gauss definiu 2 eixos para as lentes esféricas delgadas (Figura 83): eixo de abscissa dos objetos, que foi tomado contrário ao sentido da luz incidente na lente e o eixo de abscissas das imagens, a favor do sentido da luz incidente. O eixo das ordenadas foi definido tomando como base um plano cartesiano, ou seja, para cima positivo e para baixo negativo. Dessa forma, após a formação da imagem, baseado em sua posição, pode-se definir os sinais a serem utilizados nas equações (Figura 84).

Figura 83 - Referencial de Gauss.

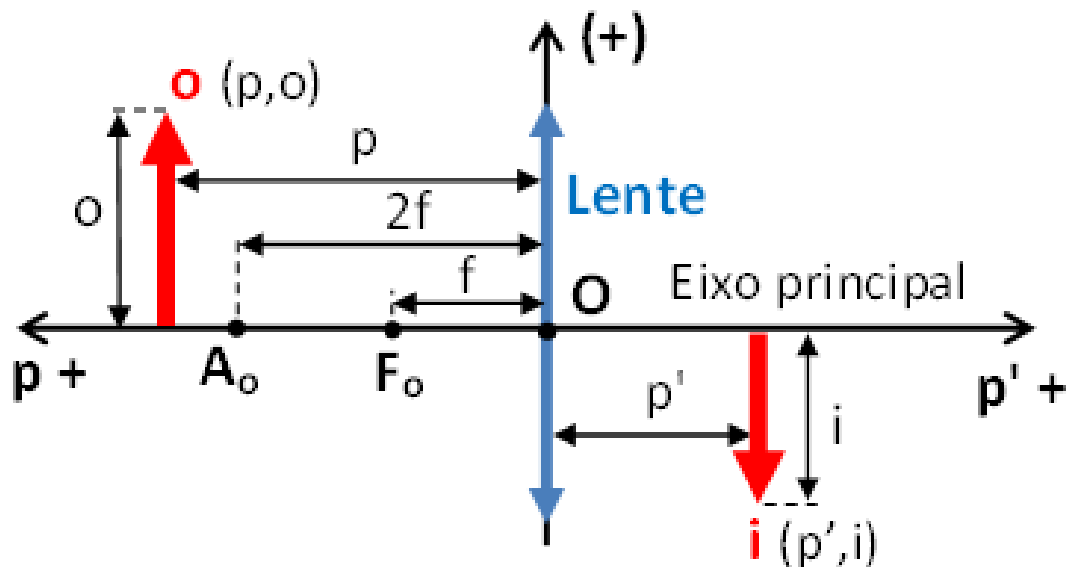
### Convenção de sinais (referencial de Gauss)



Fonte: <https://descomplica.com.br/artigo/estudo-analitico-da-lentes-esfericas-e-mais-facil-do-que-parece/4rR/>

Acesso: 19/08/2020.

Figura 84 - Definindo as distâncias em relação à lente.



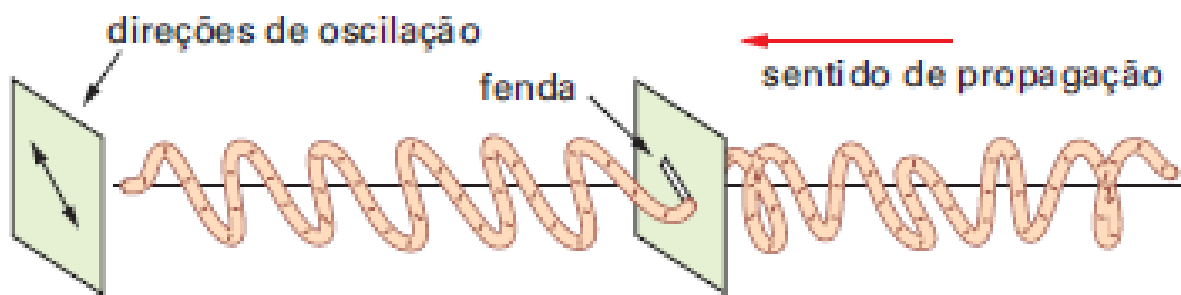
Fonte: [https://fismatica.com/Fisica/Site/Optica\\_Geometrica/Optica\\_Geometrica\\_Lentes\\_Esfericas\\_Estudo\\_Analitico.html](https://fismatica.com/Fisica/Site/Optica_Geometrica/Optica_Geometrica_Lentes_Esfericas_Estudo_Analitico.html). Acesso: 19/08/2020.



### 3.14 Polarização da luz

Halliday e Walker (2009) destacam que a polarização é um fenômeno que ocorre exclusivamente com ondas transversais, pois elas possuem a direção de vibração perpendicularmente à direção de propagação, sendo assim, possível de ocorrer esse fenômeno. Um detalhe importante, embora a direção de vibração seja perpendicular à direção de propagação, a onda transversal pode possuir várias direções de vibração, de forma aleatória, de tal modo que a direção de vibração seja sempre perpendicular à direção de propagação. Para uma visualização desse fenômeno, pode-se considerar a propagação aleatória de ondas em várias direções em uma corda tensionada (Figura 85).

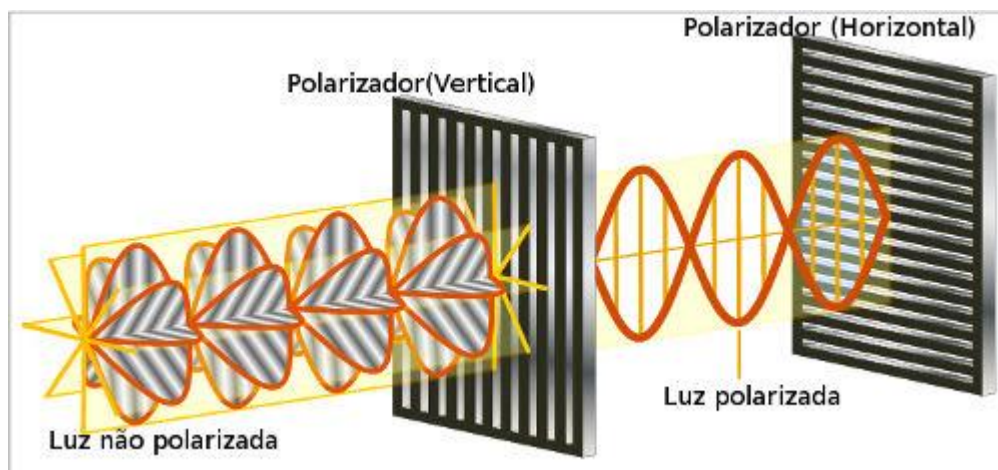
Figura 85 - Ilustração de uma onda sofrendo polarização.



Fonte: Compreendendo a Física – Gaspar (2013).

A polarização ocorrerá quando as ondas não polarizadas, ou seja, com várias direções de propagação, passarem por uma fenda unidirecional (polarizador) (Figura 86).

Figura 86 - Polarização da luz.



Fonte: <https://brasilecola.uol.com.br/o-que-e/fisica/o-que-e-polarizacao.htm>. Acesso: 27/03/2021.

A polarização é usada, por exemplo, em óculos escuros, com lentes polarizadas, tela de monitor de computador e óculos 3D.

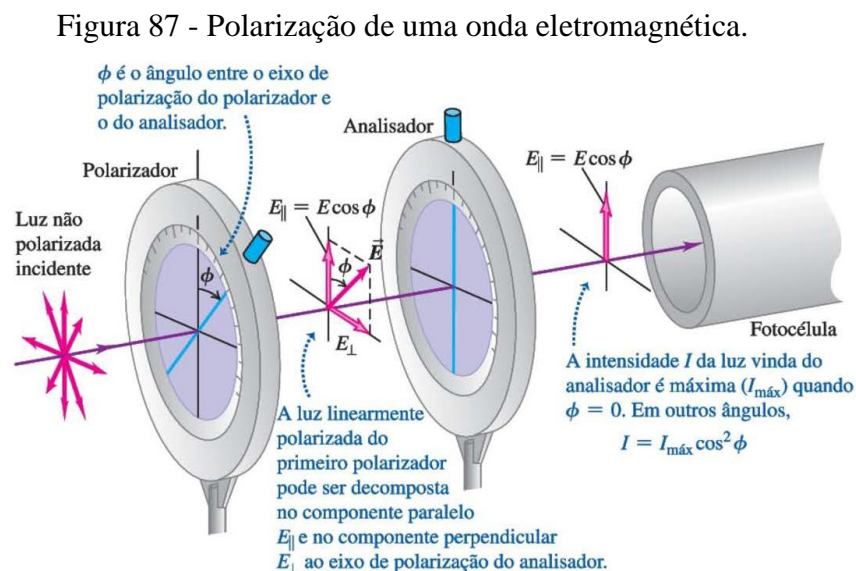
Segundo Young e Freedman (2016), os campos vetoriais elétricos e magnéticos oscilam em direções perpendiculares à direção de propagação (direção  $x$ ) da onda e também perpendiculares entre si. Deve-se definir a direção de polarização da onda eletromagnética, baseada na direção do vetor campo elétrico e não do vetor campo magnético, pois os detectores de ondas eletromagnéticas utilizam a ação da força elétrica e não a ação da força magnética. Dessa forma, pode-se descrever uma onda eletromagnética do seguinte modo:

$$\vec{E}(x, t) = \hat{j} E_{m\acute{a}x} \cos(kx - \omega t) \quad (3.56)$$

$$\vec{B}(x, t) = \hat{k} B_{m\acute{a}x} \cos(kx - \omega t) \quad (3.57)$$

Onde  $\hat{j}$  e  $\hat{k}$  são os vetores unitários paralelos aos eixos cartesianos  $y$  e  $z$ , respectivamente.

De acordo com a Figura 87, percebe-se que um analisador ideal transmite a componente do campo elétrico na mesma direção do eixo de polarização.



Fonte: Física IV – Óptica e Física Moderna - Young e Freedman (2016).

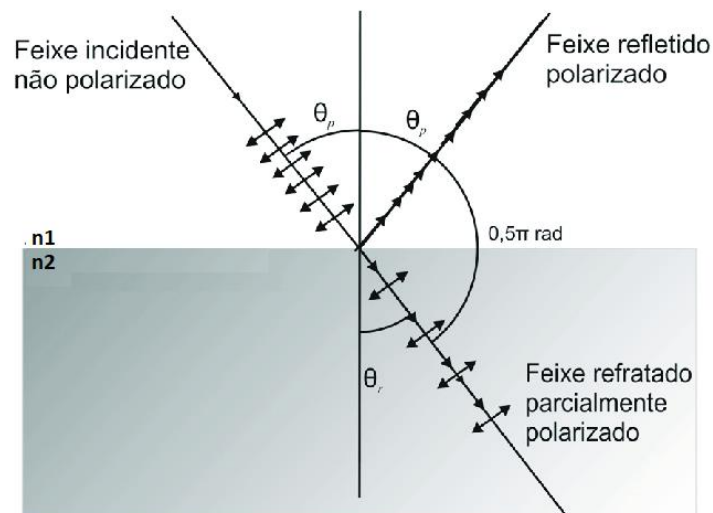
A relação entre as intensidades da luz transmitida por um analisador e a intensidade transmitida máxima é dada pela *Lei de Malus*:

$$I = I_{\max} \cos^2 \phi \quad (3.58)$$

### Polarização da luz por reflexão

Ainda citando Halliday e Walker (2009), a polarização por reflexão vai ocorrer quando o ângulo de incidência em uma superfície proporcione ao raio refletido o fenômeno de polarização para a luz (Figura 88). Nesse caso, esse ângulo de incidência é denominado **ângulo de Brewster**.

Figura 88 - Polarização por reflexão.



Fonte: [https://www.researchgate.net/figure/Figura-82-Esquema-mostrando-a-polarizacao-por-reflexao-O-feixe-refletido-e-totalmente\\_fig5\\_265686500](https://www.researchgate.net/figure/Figura-82-Esquema-mostrando-a-polarizacao-por-reflexao-O-feixe-refletido-e-totalmente_fig5_265686500) Acesso: 21/08/2020.

Na situação em que ocorre a polarização por reflexão, o ângulo entre os raios refletido e refratado é de  $90^\circ$ . Logo, pode-se concluir, analisando a figura acima que:

$$\theta_R + \theta_{R'} + 90^\circ = 180^\circ, \text{ organizando a equação, teremos:}$$

$$\theta_R + \theta_{R'} = 180^\circ$$

### Cálculo do ângulo de Brewster:

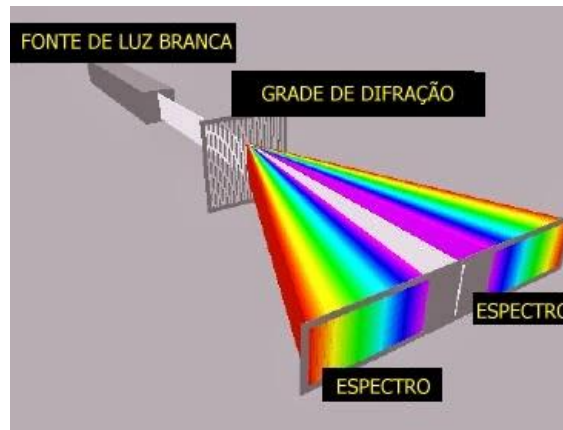
O *ângulo de Brewster* pode ser calculado da seguinte maneira:

$$\operatorname{tg} \theta_R = \frac{n_2}{n_1} \quad (3.59)$$

## Rede de difração

Segundo Govêa (2004), a luz branca ao incidir em um CD, sofrerá uma difração, sendo decomposta em cones. Isso ocorre por que o CD funciona como uma rede de difração.

Figura 89 - Rede de difração



Fonte: <http://era-weblab.blogspot.com/2012/03/componentes-de-um-espectrofotometro.html>.

Acesso: 27/03/2021.

A rede de difração será muito importante para dar o embasamento teórico do funcionamento do espectrômetro presente no banco óptico proposto deste trabalho. A lente desse espectrômetro foi construída com a utilização de uma seção de um CD, permitindo que o aluno consiga contemplar o espectro visível de luz.

#### 4 DAVID AUSUBEL: APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

Este trabalho toma como base para a compreensão do aluno a aprendizagem subordinada correlativa de Ausubel, na qual o aluno irá correlacionar as novas ideias com ideias já sabidas, deixando assim o seu repertório de ideias cada vez maior, sempre visando a aprendizagem significativa. Para Mancini (2015), a teoria da aprendizagem significativa de Ausubel está centrada na aprendizagem ativa do aluno, que terá que relacionar as novas informações com os conhecimentos já adquiridos. Esses conceitos adquiridos anteriormente são denominados conhecimentos subsunçor. A formação dos conceitos é aprendida na fase pré-escolar, porém, após essa fase, só há assimilação de novos conceitos, pois o conhecimento básico já foi aprendido. Os organizadores prévios têm o papel de juntar o conhecimento prévio com o que vai ser ensinado. A assimilação obliteradora faz com que a nova assimilação torne o conhecimento prévio mais rico de tal modo que os conhecimentos subsunçores fiquem cada vez mais amplos. A organização sequencial serve para organizar a assimilação dos conceitos, pois muitas informações dependem de outra, por isso que é importante seguir uma sequência lógica. Nesse caso, os mapas mentais desempenham um importante papel para organizar as informações assimiladas.

Para Pelizzari *et al.* (2002), a teoria da aprendizagem significativa de Ausubel valoriza os conhecimentos prévios dos discentes e esses conhecimentos servirão como estrutura que permitirão construir e reconstruir novos conhecimentos de forma agradável e com eficiência. Dessa forma, quando o aluno relacionar os novos aprendizados com o conhecimento já adquirido antes, ele assimilará de uma forma bem mais significativa, ou seja, tudo fica relacionado em uma rede de informações não isoladas. Pelizzari *et al.* (2002) ensina que o termo subsunçor usado por Ausubel vem do termo inglês “subsumer”. Segundo o dicionário Priberam, a palavra subsumir significa incluir em algo mais amplo ou abrangente.

Pelizzari *et al.* (2002) reforça que quando o processo de aprendizagem não ocorre através do uso de subsunçores, ou seja, quando o conhecimento ocorre de modo mecânico, sem uma correlação com algo já aprendido antes, as informações serão logo esquecidas, pois eles serão assimilados momentaneamente de forma isolada.

Pelizzari *et al.* (2002) destaca que há duas condições para haver a aprendizagem significativa:

I) O aluno tem que ter uma disposição para aprender.

II) O conteúdo a ser assimilado tem que ter uma lógica e um significado par ele. Esse significado vai depender das situações vivenciadas anteriormente por ele, para ele poder fazer um julgamento inconsciente do que é importante aprender ou não aprender.

A estrutura cognitiva de aprendizagem obedece a uma sequência hierárquica de conhecimentos e conceitos adquiridos.

Pelizzari *et al.* (2002) destaca que Ausubel diferencia dois eixos de forma de aprendizagem: Aprendizagem Significativa e Aprendizagem Memorística. A aprendizagem significativa pode ocorrer de através de descobertas ou de forma receptiva. A primeira forma de aprendizagem significativa se relaciona diretamente com o aprendizado por descobertas, ou seja, as informações chegam ao discente de forma incompleta, nesse caso, o aluno deverá buscar a finalização da informação, transformando-a em conhecimento acabado. Na outra forma de aprendizagem significativa, ou seja, na aprendizagem receptiva, a informação já chega pronta e acabada ao discente, ou seja, o discente não terá nenhum esforço em dar o devido acabamento na informação. A Aprendizagem Memorística se dá através da aprendizagem mecânica, por repetição, sem fazer a interação de novas informações com outras já aprendidas. A aprendizagem Memorística faz com que as informações estudadas não fiquem retidas por muito tempo, logo serão esquecidas.

Para Gomes *et al.* (2008) a teoria da aprendizagem de Ausubel se baseia na organização dos princípios cognitivos que otimizam o aprendizado. Essa organização se dá através da relação dos conteúdos já aprendidos com os conteúdos novos, seguindo uma organização hierárquica e sistemática. Os conhecimentos prévios são fundamentais para a ancoragem do conhecimento. Esses conhecimentos são trazidos pela vivência do indivíduo ao longo do tempo. Outros fatores que são essenciais para a aprendizagem significativa do discente é a experimentação, estímulo direto e a interação. Os papéis de professor e aluno deixam de serem rígidos e passam a ser mais flexíveis, passando todos a ensinar e aprender, logicamente, o professor passará a ter um papel de mediador do conhecimento. Júnior (2018) destaca que a aplicação prática em sala de aula é fundamental para que a aprendizagem ocorra de modo satisfatório, pois o aluno terá interesse em aprender e participar das aulas, aumentando a sua gama de conhecimentos âncoras, como sugere a aprendizagem significativa de Ausubel. A metodologia proposta neste trabalho, para promover a aprendizagem significativa, é baseada na sala de aula invertida. No momento que os alunos estiverem participando ativamente da aplicação dos itens do banco óptico, o professor irá propor que os

alunos façam determinados procedimentos e tentem explicar o fenômeno baseado em seus subsunções. Por fim, o professor irá fazer um debate, no qual os alunos poderão expor suas concepções e o professor poderá fazer as intervenções pedagógicas corrigindo as concepções equivocadas, participando, dessa forma, como um mediador no processo de ensino e aprendizagem. Vale à pena ressaltar que a diferenciação progressiva dos conhecimentos fará com que os novos conhecimentos se relacionem com os conhecimentos prévios, agregando mais ainda a base de conhecimentos prévios para os próximos novos conhecimentos.

Para Praia (2000) o destaque da teoria de Ausubel está na aprendizagem cognitiva, ou seja, há uma organização do armazenamento das informações e o aluno está aberto para aprender novas informações, relacionando com os conhecimentos adquiridos anteriormente. Dessa forma, pode-se otimizar a capacidade do banco de informações assimiladas, para serem usadas ao longo dos anos. Praia (2000) destaca que a principal forma de transmissão de conhecimento usado na teoria de Ausubel é através da linguagem oral que facilita mais o aprendizado, além de integrar os interlocutores no caso, professor e o aluno. Praia (2000) chama a atenção para o fato de que o processo de aprendizagem é dinâmico, mas há uma predominância da passividade do discente ao longo do processo. Isso não quer dizer que o aluno não irá interagir, questionando, discutindo os pontos não compreendidos, apenas ele não precisará aprender sozinho. O fato é detectar o que o aluno já sabe, para ele poder fazer as conexões com as novas informações.

Eles expõem a importância de os alunos buscarem significados em conteúdos já estabelecidos na intenção progressiva de construir um forte vínculo entre novos e antigos saberes, como ferramenta no processo de aprendizagem.

Felicetti e Pastoriza (2015) citando Praia (2000) indica que Ausubel utilizou a abordagem cognitivista para desenvolver seu modelo de aprendizagem significativa. A corrente cognitivista de aprendizagem se baseia na premissa de que as informações são guardadas em uma estrutura organizada na mente do aluno, a estrutura cognitiva, um local onde ocorre a significação do que é aprendido. Em resumo a estrutura cognitiva é uma região onde são alocadas informações, conceitos que se sobrepõem. Por sua vez essas informações ficam disponíveis nessa região para funcionarem como porto para novos conceitos.

Citando Neto (2006) o material a ser assimilado pelo aluno deve possuir significação e não deve ser arbitrário; o relacionamento não arbitrário ocorrerá quando o que

for ser aprendido possuir razoabilidade para proporcionar a interação com distintos subsunçores, que os aprendizes são capazes de guardar nas suas conexões cognitivas.

Para Neto (2006) o modelo apontado por Ausubel (Ausubel, 1966; Ausubel *et al* 1980, trad.) denota a assimilação como explicação para a facilidade de aprendizagem e a retenção assim como a crescente sistematização do conhecimento e a assimilação obliterativa.

A aprendizagem significativa se baseia na preexistência dos subsunçores, caso eles não existam na estrutura cognitiva do aluno, devem ser usados organizadores prévios segundo Felicetti e Pastoriza (2015), que são materiais de introdução a serem mostrados antes do material principal e que possam servir como promoção para os mesmos. Esses organizadores prévios devem contemplar relações que permitam os alunos a vislumbrar o conteúdo que será ministrado posteriormente e dar um panorama geral do que será mostrado.



## 5 PRODUTO EDUCACIONAL

Os professores do ensino médio de um modo geral, muitas vezes se deparam com a ausência de um laboratório de Física nas escolas e quando elas possuem laboratório, eles não dispõem de equipamentos de Óptica Geométrica. Este produto educacional foi aplicado no colégio Ari de Sá Cavalcante, na cidade de Fortaleza, Ceará. Essa escola é uma exceção a realidade, pois ela dispõe de 3 laboratórios de Física bem equipados, um em cada sede. Nessa escola, os alunos do ensino médio têm contato quinzenal com o laboratório apenas no 1º ano como disciplina obrigatória dentro da grade de aulas. O conteúdo de Óptica Geométrica é ensinado no 2º ano dessa escola e como eles não vão ao laboratório com frequência, optei pela utilização do banco óptico em sala de aula. Desse modo, otimizando o tempo de aula, pois perderíamos muito tempo para o traslado dos alunos ao laboratório, bem como organizá-los, e preparar as práticas, restando pouco tempo de aula para a execução da prática. A escolha do banco óptico como produto deste trabalho foi pensando em algo lúdico que pudesse trazer os alunos a conhecerem um pouco mais da Física. A minha experiência em sala de aula no ensino da óptica geométrica me fez perceber que as aulas tradicionais com pincel e quadro branco fazem com que os alunos sejam apenas meros expectadores, não tendo interesse algum pelo conteúdo ensinado. Tive que pensar em algo em que os estudantes pudessem ver o fenômeno ocorrendo e se perguntarem admirados o porquê que aquilo está acontecendo. O banco óptico tem o papel de aguçar mais a curiosidade dos alunos e fazer com que eles participem de maneira mais crítica das aulas teóricas, servindo de suporte indispensável para os professores ao longo de suas aulas.

O banco óptico é composto pelos seguintes itens: espectrômetro, câmara escura, disco de Newton, associação de espelhos planos, utilização das lentes e película polarizadora.

A motivação para o uso de cada item do banco óptico se deu de forma a auxiliar a compreensão do discente ao longo das aulas do professor e estão descritas com mais detalhes adiante. Nas **Figuras 89 – 94** estão registrados os itens do banco óptico construídos e utilizados nas aulas.

### 5.1 Itens do banco óptico

Nesta seção, vamos apresentar os itens do banco óptico, descrevendo os materiais utilizados e destacar brevemente a relação do conteúdo teórico ensinado, em sala de aula, com cada item do banco óptico.

## Espectrômetro

Figura 90 - Par de espectrômetros.



Fonte: Autoria própria (2021).

O espectrômetro foi construído com materiais encontrados em depósito de material de construção, tais como: um tubo de PVC, tampa para o tubo e um CD ou DVD encontrado em papelaria. Ele tem como papel reproduzir o efeito que o prisma de Newton e as gotículas de água fazem ao serem atravessados pela luz solar.

O espectrômetro foi construído com o intuito de poder mostrar ao estudante que a luz branca é policromática e que ela pode ser decomposta quando ela sofre o fenômeno de dispersão, separando nas cores que compõe o arco-íris, na sequência:

**Vermelho, alaranjado, amarelo, verde, azul, anil e violeta.**

Vale à pena destacar que a cor violeta sofre o maior desvio e a cor vermelha sofre o menor desvio ao refratarem do ar para a peça de acrílico. Lembre-se de que a luz visível que se propaga no acrílico com maior velocidade é a de cor vermelha e aquela que se propaga com menor velocidade é a de cor violeta. No vácuo, todas as luzes se propagam com a mesma velocidade ( $c = 3 \times 10^5 \text{ Km/s}$ ). Dessa forma, o estudante poderá compreender que, embora a peça de acrílico seja a mesma, cada cor terá um determinado valor para o índice de refração, sendo maior para a luz violeta e menor para a luz vermelha. O estudante também compreenderá que a frequência da luz cresce da cor vermelha para a violeta. Já o comprimento de onda, ocorre de forma contrária.

## Câmara Escura

A câmara escura foi feita com tubo de PVC, tampa para o tubo, cartolina preta, papel vegetal, fita crepe, fósforo e vela. Essa câmara se diferencia de outras câmaras, pois ela pode ter a sua profundidade ajustável, propiciando ao aluno observar o comportamento da imagem a cada ajuste. A câmara escura tem como fundamento básico de funcionamento o princípio da propagação retilínea da luz.

Figura 91 - Câmara escura.



Fonte: Autoria própria (2021).

Com esse experimento, buscamos demonstrar a posição de imagens por meio de orifícios e anteparos assim como a relação que existe entre imagens reais e invertidas em relação ao objeto que está sendo projetado. Pode-se perceber a relação existente entre o tamanho da câmara e o tamanho da imagem, relação esta que ocorre através de uma simples semelhança de triângulos. Dessa forma, o discente poderá perceber como se dá o funcionamento das câmeras fotográficas antigas, na qual se usava o filme fotográfico no lugar do papel vegetal. Outros fenômenos do cotidiano também se fundamentam no princípio de propagação retilínea dos raios de luz, tais como, a formação das sombras, eclipse e as fases da lua.

### Disco de Newton

O Disco de Newton foi utilizando uma cartolina branca, giz de cera, motorzinho de brinquedo e pilha para o funcionamento. A utilização do motorzinho é opcional, caso o professor queira, ele pode girar o disco utilizando uma vareta ou um lápis.

Figura 92 - Disco de Newton.

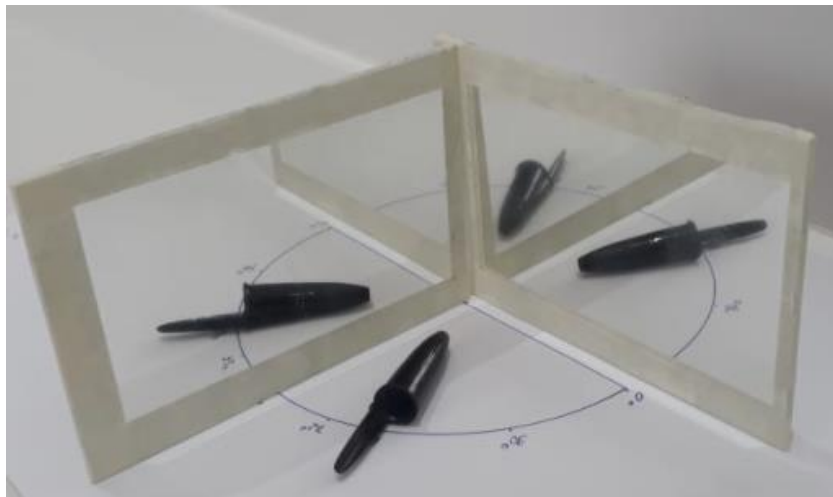


Fonte: A autoria própria (2021)

O Disco de Newton tem o intuito de mostrar o efeito contrário da dispersão da luz branca, quando se faz com que a mistura dos raios luminosos em cada setor circular do disco se juntem resultando a luz branca. O aluno perceberá que isso se dá através da mistura de luzes e não da mistura de pigmentos através das misturas de tintas.

### Associação de espelhos planos

Figura 93 - Associação de espelhos planos.



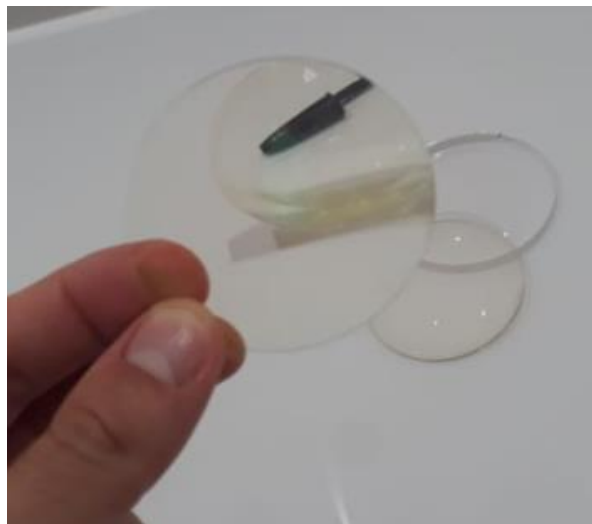
Fonte: A autoria própria (2021).

Para fazer a associação de espelhos planos, foi utilizado um par de espelhos planos, fita crepe, para colar nas bordas do espelho para evitar acidentes, uma borracha escolar, para servir como objeto e um transferidor para graduar os ângulos que os alunos farão a prática.

A associação de espelhos planos proporcionará a visualização das múltiplas imagens na prática e a relação entre o ângulo entre os espelhos e a número de imagens formadas.

### **Utilização das lentes**

Figura 94 - Lentes esféricas.



Fonte: Autorial própria (2021).

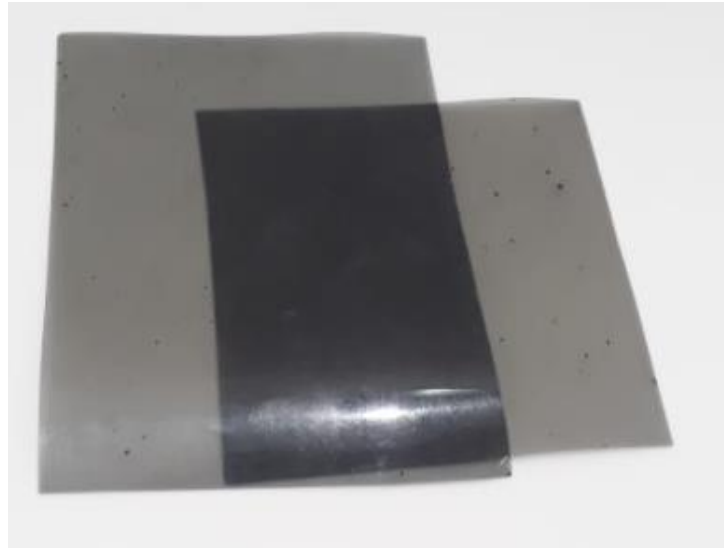
As lentes utilizadas no banco óptico são lentes de esféricas convergentes e divergentes, retiradas de óculos de grau antigos, lupa ou binóculo infantil. O experimento com as lentes permitirá aos alunos que observem as características das imagens de cada lente, bem como os efeitos da associação e da justaposição.

As lentes possuem uma grande utilidade em nosso cotidiano podendo ser usada nos óculos, lupa, olho mágico, luneta, microscópio, câmera fotográfica e projetor de slides. O aprimoramento das lentes proporcionou à humanidade a correção de defeitos de visão e a visualização do espaço sideral. O princípio de funcionamento se fundamenta na refração que a luz sofre ao passar de um meio para o material da lente. O tipo de imagem gerado vai depender da posição que o objeto se encontra em relação à lente e do tipo de lente, podendo gerar imagens reais, através do encontro dos raios refratados, ou virtuais, através do encontro dos prolongamentos dos raios refratados, podendo a imagem ser maior ou menor do que o

objeto. A relação entre o tamanho da imagem e o tamanho do objeto pode ser calculada pela equação de Gauss e pela equação do aumento linear. A vergência da lente poderá ser calculada pela equação de Halley (equação dos fabricantes de lentes).

### **Película polarizadora**

Figura 95 - Par de películas polarizadoras.



Fonte: Autoria própria (2021).

A película polarizadora foi adquirida a partir dos monitores de computador inutilizado em oficinas. A película polarizadora proporcionará ao estudante constatar se a luz que chega aos seus olhos é polarizada ou não. Isso fará com que ele compreenda o funcionamento dos óculos 3D, tela de notebook e óculos escuros.

### **5.2 Os materiais utilizados no banco óptico**

A aquisição dos materiais para confeccionar um banco óptico dessa proposta pedagógica pode ser encontrado de forma relativamente fácil. Abaixo, seguem os materiais utilizados e onde encontrá-los:

#### **Materiais adquiridos em papelaria:**

- Um CD antigo;
- Estilete;
- Tesoura;

- Cartolina preta;
- Papel vegetal;
- Fita crepe;
- Vela;
- Fósforo;
- Estojo de giz de cera;
- Pilha AAA;
- Tampa de caneta;
- Borracha escolar;
- Transferidor.

**Materiais encontrados em depósito de material de construção:**

- Tubo de PVC de 5 polegadas;
- 2 CAPS para o tubo de 5 polegadas;
- Tubo de PVC (25 mm);
- CAP para o tubo de 25 mm.

**Loja de produto importado:**

- Motorzinho de brinquedo;
- Lente esférica convergente de lupa;
- Lente esférica divergente de luneta de brinquedo;
- Dois pequenos espelhos planos.

**Oficina de computador**

- Dois pedaços de película de tela de notebook.

### **5.3 A construção do banco óptico**

O banco óptico foi construído a partir de material de baixo custo ou através de material de fácil aquisição podendo ser encontrado em papelarias, depósito de material de construção e lojas de produtos importados da China. Caso o docente disponha de tempo, uma sugestão para a prática, seria o professor levar os itens do banco óptico semi-prontos, para que os alunos possam finalizar a construção de cada item, ou seja, os alunos colocariam a mão na massa. A seguir, iremos detalhar os materiais utilizados e como construir cada item do banco.

#### **Espectrômetro**

O espectrômetro foi construído utilizando-se materiais simples e de baixo custo em depósito de construção e materiais caseiros.

Materiais utilizados para sua construção:

- Tubo de PVC, adquirido em um depósito de construção.
- 2 tampas para o tubo, adquirida no depósito de construção.
- Um CD antigo.
- Estilete
- Tesoura

Primeiramente, deve-se retirar a película do CD, utilizando-se o estilete para cortar a mídia do disco. Utilize a tesoura para cortar um círculo no acrílico do CD, para poder encaixar na seção reta do tubo de PVC. Faça uma estreita fenda em uma das tampas. Dê um corte transversal de 15 cm de comprimento no tubo. Encaixe o círculo de acrílico na extremidade do tubo, colocando-se a tampa que fixará o círculo. Na outra extremidade, coloque a tampa com a fenda para visualização. Esse item do banco óptico proporcionará a observação do espectro de luz visível ao apontá-lo para uma lâmpada acesa em sala de aula.

#### **Câmara Escura**



A câmara escura de orifício foi feita utilizando-se cartolina materiais de baixo custo encontrados em papelaria e depósito de construção.

Materiais utilizados para sua construção:

- Tubo de PVC;
- Tampa para o tubo de PVC;
- Cartolina preta;
- Papel vegetal;
- Fita crepe;
- Vela;
- Fósforo.
- Tesoura.

Primeiramente, fez-se um orifício na tampa do tubo de PVC e conectou a uma das extremidades do tubo, em seguida, fez-se um corte transversal de 20 cm no tubo. A cartolina foi enrolada em forma de cilindro, colando-se o papel vegetal em uma das extremidades. Conectou-se uma das extremidades no tubo, direcionando o orifício para a chama de uma vela acesa. Pode-se ver a imagem real e diminuída da chama da vela projetada no papel vegetal.

### **Disco de Newton**

Materiais utilizados para a construção:

- Cartolina;
- Giz de cera;
- Motorzinho de brinquedo;
- Pilha AAA

Corta-se um círculo de raio 5 cm em seguida, faz-se 7 seções circulares com aproximadamente o mesmo ângulo pintando cada setor circular com as cores do arco-íris,

seguindo a seguinte sequência: vermelho, alaranjado, amarelo, verde, azul, anil e violeta. Conecta-se o disco colorido ao motorzinho e faça-o girar. Observe o disco em movimento, você perceberá a superfície colorida esbranquiçada, mostrando que a mistura das luzes que compõem o arco-íris gera a luz branca.

### **Utilização das lentes**

- Lente esférica convergente;
- Lente esférica divergente;
- Tampa de caneta

As lentes foram usadas para perceber os tipos de imagens e as suas características, dependendo sempre da posição do objeto em relação às lentes. O objeto utilizado para a visualização foi uma tampa de uma caneta. Os alunos puderam comprovar o efeito da associação da lente e a justaposição das lentes, podendo comprovar o efeito da lente resultante em relação à imagem formada.

### **Associação de espelhos planos**

- Dois pequenos espelhos planos
- Fita crepe
- Borracha escolar
- Transferidor

Retiraram-se os espelhos planos comprados em comprados nas lojas de produtos importados, em seguida, fez-se a união de duas arestas de mesmas dimensões e passou-se fita crepe para servir como eixo de rotação para a associação. Com o auxílio de um transferidor, demarcaram-se alguns ângulos notáveis, tais como:  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $90^\circ$ . Fez-se a abertura de cada espelho, em cada ângulo, anotando-se a quantidade de imagens que é formada, até conjecturar uma equação para o cálculo do número de imagens.

### **Película polarizadora**

- 2 pedaços de películas de tela de notebook;
- Ambiente iluminado por luz solar.

Pega-se uma das películas e direciona-se contra a luz solar. Percebe-se que a luz solar irá atravessar a primeira película, mas não teremos a certeza de que a luz foi polarizada, pois não conseguimos enxergar o plano de oscilação dos campos elétrico e magnético. Para ter a confirmação de que a luz que atravessou a primeira película foi polarizada, coloca-se a segunda película e começa a girá-la. Quando o ângulo entre os eixos de polarização das duas películas formarem o ângulo de  $90^\circ$ , nenhum raio de luz conseguirá atravessar a segunda película que servirá como analisador.

### **5.3 Proposta pedagógica**

Nossa proposta pedagógica relatada neste trabalho consistiu de uma sequência didática com quatro passos: Pré-teste, Aplicação do banco óptico, Debates e Pós-teste. O pré-teste teve como objetivo dar um panorama ao docente dos subsunçores que os alunos já dispõem acerca do conteúdo de Óptica Geométrica. Para a aplicação do banco Óptico, foram construídos 5 kits e cada kit pode ser usado por 6 alunos durante a prática, totalizando 30 alunos durante a abordagem pedagógica. Essa quantidade de alunos foi pensada para que cada aluno ao longo da aula pudesse manusear 1 item do banco óptico ao mesmo tempo, evitando que o estudante ficasse disperso ao longo da prática. O professor foi solicitando aos alunos que executassem determinados procedimentos com cada item do banco óptico e anotassem os resultados para o momento do debate, ou seja, a aplicação do banco óptico não ficou solta e desordenada. Os alunos precisavam seguir alguns comandos do docente. Ao final, os alunos dispunham de uma espécie de relatório com todas as anotações percebidas inerentes da prática. No momento do debate, algum representante da equipe ia expor os resultados, comparando com os resultados das outras equipes e tentar compreender as diferentes percepções de uma equipe para a outra. Nesse momento, o professor terá o papel de mediador, fazendo as devidas correções, quando necessário, contribuindo para a aprendizagem significativa do grupo todo. Uma sugestão, caso o professor disponha de tempo, o docente pode propor aos alunos que façam um mapa conceitual individual ou da equipe, para que ele possa ter evidência do que eles aprenderam e as lacunas que não foram contempladas com a

prática. Por último, o professor fará uma avaliação somativa, um pós-teste, individual, sem pontuação, para avaliar a retenção do conteúdo estudado na aplicação do banco óptico.

Uma observação, a proposta pedagógica aqui utilizada não é única, nem a melhor; foi a que escolhemos e utilizamos. O docente pode, a partir de sua experiência docente, desenvolver a sua própria proposta pedagógica utilizando o kit de experimentos aqui descrito. Por exemplo, o professor pode levar os experimentos quase prontos para a sala de aula, para que os alunos os montem. Nesse caso, o professor fará uma abordagem diferente da nossa. Ele necessitará de mais tempo para que os alunos montem e utilizem os experimentos. Assim, a abordagem pedagógica envolverá também a montagem dos experimentos, ou seja, mão na massa. Mas, nesse caso, o resultado poderá também ser diferente do que nós alcançamos.

Quanto às avaliações, não foram objeto do presente trabalho. Ou seja, o método avaliativo utilizado por nós não foi alterado pelo uso dos experimentos. Nosso intuito em utilizar os kits experimentais foi apenas de tornar nossas aulas mais atraentes e lúdicas para os estudantes.

## 6 METODOLOGIA

O produto foi aplicado nas duas turmas do 2º ano do ensino médio do Colégio Ari de Sá Cavalcante em Fortaleza, Ceará. As outras turmas de 2º ano, das outras sedes da mesma escola, não foi feita a aplicação para que o professor pudesse comparar a evolução dos alunos. O banco óptico foi escolhido devido à grande dificuldade que sempre vivenciei em minhas aulas do conteúdo, pois senti que faltava algo para agregar, de forma lúdica e prática, para que o aluno pudesse presenciar o fenômeno ou a aplicação do conteúdo que estava sendo feita em sala. Isso tudo de forma clara objetiva e simples, usando materiais de baixo custo encontrados em loja de materiais de construção, papelaria e oficina de computador.

O banco óptico contempla os conteúdos de princípios da óptica geométrica, reflexão, refração, dispersão e polarização. O banco óptico pode ser aplicado a qualquer série do Ensino Médio que esteja estudando o conteúdo de óptica geométrica, podendo ser 1ª série ou 2ª série. Como os experimentos são qualitativos, não será necessário nenhum conhecimento prévio matemático rebuscado para a compreensão de cada item.

O professor poderá utilizar os itens do banco óptico no momento em que cada conteúdo está sendo exposto, para poder servir de experimento para reforçar a aula teórica. Nesse caso, seriam necessários 6 (seis) dias distintos, um para cada experimento, com o espaçamento necessário entre as aulas à medida que elas forem ocorrendo. Outra forma interessante de utilização do banco óptico seria nos primeiros dias de aula do ano sobre o conteúdo de óptica geométrica, para aguçar o interesse do aluno para essa parte da Física. Nesse caso, seriam necessárias 3 (três) aulas, nas quais o professor apresentará em cada aula, 2 (dois) experimentos do banco óptico.

Caso se faça a opção por aplicar todos os itens do banco óptico no início do ano, antes do conteúdo ser visto, para deixar o aluno curioso, sugiro que seja feito em 3 (três) aulas, usando 2 (dois) experimentos em cada aula, seguindo a seguinte sugestão:

1ª aula: Câmara escura e associação de espelhos.

2ª aula: Espectrômetro e o disco de Newton.

3ª aula: Películas polarizadoras e a utilização das lentes.

Na confecção de 5 (cinco) bancos ópticos, uma turma de 30 alunos pode ser dividida em grupos de 6 alunos, pois cada aluno terá tempo suficiente para manipular e discutir o experimento no tempo de 50 minutos de uma aula, fazendo as anotações dos resultados encontrados.

Para a aplicação desse banco óptico, usou-se uma sequência didática com quatro passos: Pré-teste, Aplicação do banco óptico, Debates e Pós-teste.

Antes do início da aplicação dos experimentos foi realizado um pré-teste que teve como objetivo avaliar os conhecimentos prévios dos alunos acerca da óptica geométrica. Foram elaboradas 9 (nove) questões básicas de múltipla escolha com quatro opções (do tipo ABCD) em forma de avaliação diagnóstica para saber as concepções prévias que os alunos trazem sobre o assunto de óptica geométrica. Participaram da prática um total de 91 alunos, dos quais 43 são da 2ª série 1 e os outros 48 alunos são da 2ª série 2.

Para a prática, o professor construiu 5 kits. A aplicação do banco óptico foi feita dividindo-se a sala de aula em equipes de 6 alunos cada, totalizando 30 alunos na prática. Durante a aplicação dos itens do banco óptico, foi feita uma simples explicação para que os alunos pudessem compreender cada item do banco de forma bem didática. Os alunos foram instruídos a executarem alguns procedimentos em cada experimento, tais como, aproximar o objeto, alterar o ângulo, girar as películas, juntar as lentes para ver o que ocorria com a imagem, descrever a sequência das cores observadas. Foi solicitado aos alunos que anotassem todos os resultados, ou seja, eles fizeram uma espécie de relatório que foi utilizado no debate.

Após a prática, o professor organizou um debate sobre os resultados encontrados por cada equipe, fazendo as devidas ponderações, quando necessário. Nesse momento, é interessante que o docente solicite aos alunos que façam um mapa conceitual para organizar o conteúdo de uma forma clara e objetiva.

Por fim, foi solicitado aos alunos que realizassem uma avaliação somativa, um pós-teste, para avaliar a absorção do conteúdo, satisfação dos alunos, expectativas e satisfação com o conteúdo de óptica estudado. A avaliação foi feita de forma online através da plataforma do *Google Forms*. Todos os resultados foram coletados e analisados.

## 7 ANÁLISE DOS RESULTADOS

O pré-teste teve como objetivo avaliar os conhecimentos prévios dos alunos acerca da Óptica Geométrica. Foram elaboradas 9 questões básicas com múltipla escolha, do tipo ABCD, em forma de avaliação diagnóstica para saber as concepções prévias que os alunos trazem sobre o assunto. Participaram da prática um total de 91 alunos, dos quais 43 são da 2ª série 1 e os outros 48 alunos são da 2ª série 2.

### 7.1 Análise do resultado do pré-teste

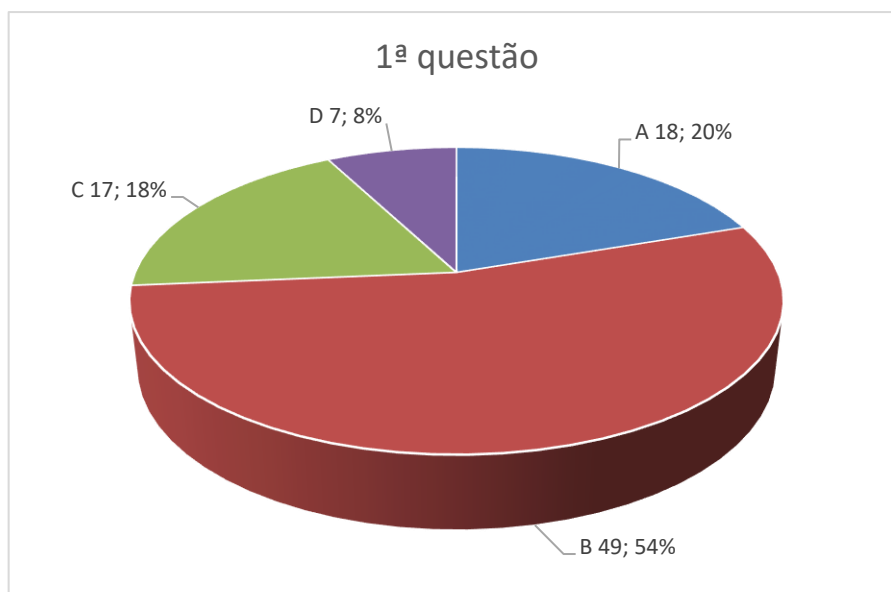
#### 1) Você tem interesse por fenômenos ligados à luz?

- a) Tenho pouco interesse.
- b) Acho interessante, porém não conheço muito.
- c) Acho muito interessante, mas desconheço os fenômenos.
- d) Tenho muito interesse e conheço alguns fenômenos ligados à propagação da luz.

#### Análise das respostas da 1ª questão das turmas 1 e 2 juntas:

A primeira questão teve o objetivo de saber a expectativa do aluno em relação ao conteúdo que será ministrado ao longo do ano. Percebe-se pela análise das respostas (Gráfico 1) que a maior parte dos alunos de ambas as turmas acham interessante os fenômenos ligados a luz, embora não conheçam muito bem. Alguns alunos, poucos alunos, em torno de 10% do total, responderam que têm bastante interesse e que conhecem alguns fenômenos ligados à óptica geométrica. Provavelmente, esses alunos devem ser novatos e já devem ter visto o conteúdo em outra escola na 1ª série do Ensino Médio. Em torno de 20% dos alunos não tem o menor interesse, esses alunos devem ser aqueles que detestam a Física. Em relação a esses alunos, o professor terá um grande desafio, ao longo do ano, de tentar aproximar a Física deles de forma lúdica.

Gráfico 1 - Respostas fornecidas pelos alunos das turmas 1 e 2 ao pré-teste (Questão 1).



Fonte: Autoria própria (2020).

## 2) O que você espera estudar sobre o conteúdo de óptica geométrica?

- a) Apenas cálculos.
- b) Apenas teoria.
- c) Cálculo e teoria equiparados.
- d) Muitos cálculos e pouca teoria.

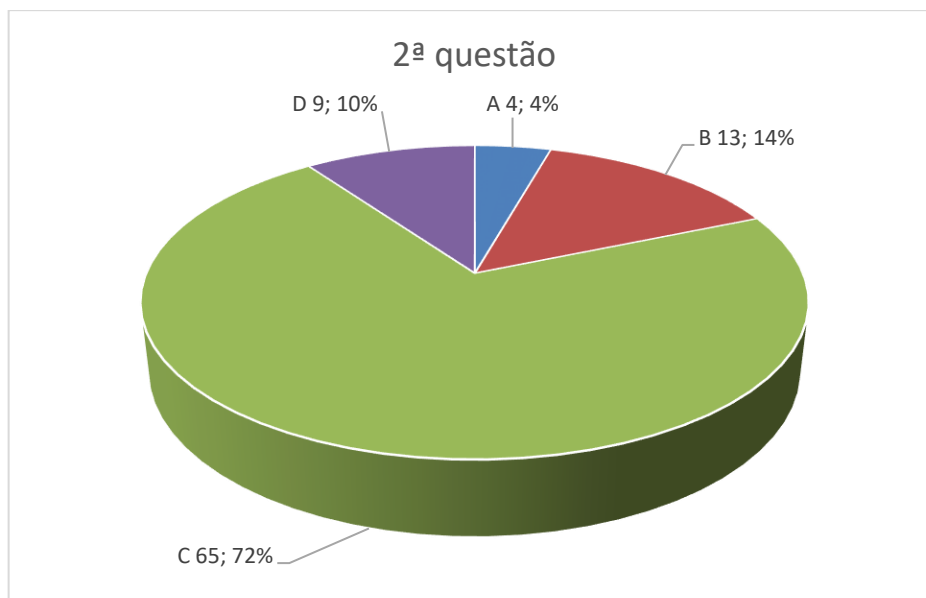
### **Análise das respostas da 2ª questão das turmas 1 e 2 juntas:**

Essa pergunta foi feita propositalmente, pois, ao longo das aulas, na época, próximo a uma avaliação, os alunos sempre perguntam se a prova será mais teórica ou mais de cálculo. É preciso ter a compreensão de que a teoria e os cálculos são fundamentais para o aprendizado da Física. Analisando as respostas (Gráfico 2), percebe-se que a maioria dos alunos, em torno de 70%, esperam uma igualdade da teoria e do cálculo. Provavelmente, esse grande percentual se justifique pela a experiência que os alunos já tiveram com a Física na 1ª série do ensino médio. Eles devem ter notado que a teoria e o cálculo andam juntos. Vale



ressaltar que a 10% dos alunos esperam um conteúdo com mais cálculo do que teórico. Em torno de 16% esperam mais teoria do que cálculo e apenas 4% esperam apenas cálculos.

Gráfico 2 - Respostas fornecidas pelos alunos das turmas 1 e 2 ao pré-teste (Questão 2).



Fonte: Autoria própria (2020).

### 3) Quais dos fenômenos abaixo você acredita que pode ser explicado pela óptica?

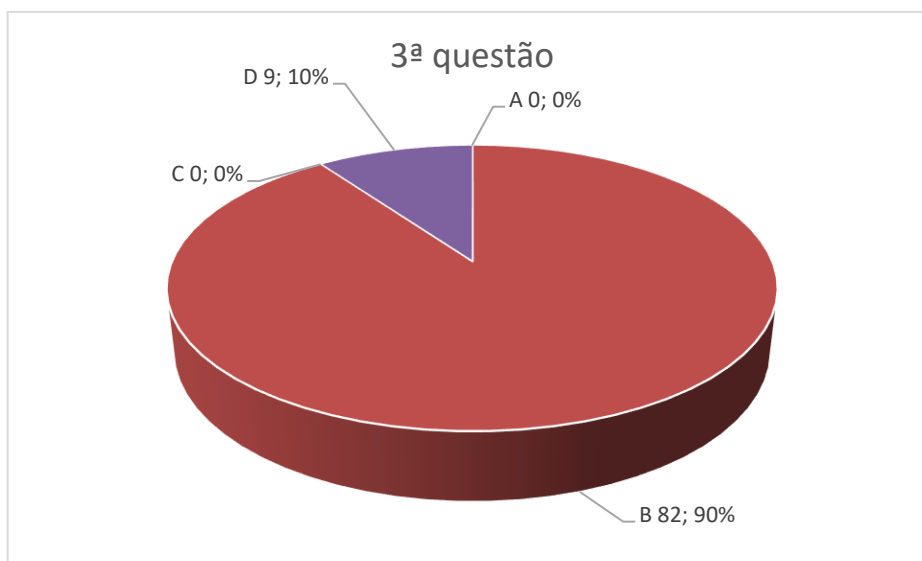
- Funcionando do motor de um carro.
- Formação de um arco íris.
- Derretimento de um bloco de gelo.
- Descarga elétrica durante uma tempestade.

#### Análise das respostas da 3ª questão das turmas 1 e 2 juntas:

Essa pergunta tinha o objetivo de avaliar se os alunos tinham conhecimentos dos fenômenos relacionados com a óptica geométrica. Em torno de 92% das respostas foram corretas (Gráfico 3), apontando que o arco-íris está relacionado com a óptica geométrica, embora eles não tenham visto nada sobre a dispersão da luz branca, embora 8% dos alunos acreditavam que a descarga elétrica também era um fenômeno relacionado à óptica. Esses resultados são bem interessantes, pois ambos podem ser considerados corretos, um vez que

durante uma descarga elétrica em uma tempestade, há um clarão, na formação de um raio. Logo, ambas as respostas são satisfatórias, ou seja, 100% dos alunos reconheceram de forma correta os fenômenos ligados à Óptica Geométrica. As outras opções não tiveram marcação alguma, mostrando que os alunos conseguem compreender fenômenos associados à mecânica e à termologia, uma vez que já estudaram esses conteúdos na 1ª série do ensino médio.

Gráfico 3 - Respostas fornecidas pelos alunos das turmas 1 e 2 ao pré-teste (Questão 3).



Fonte: Autoria própria (2020).

**4) Na sua opinião, como se apresentaria a imagem da letra "F" diante de um espelho plano?**

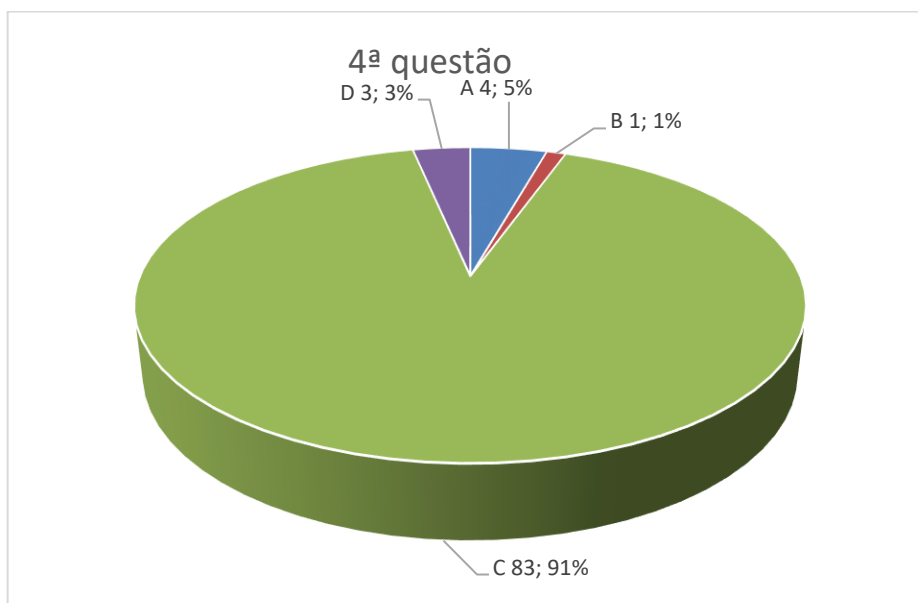
- a)       b)       c)       d) 

**Análise das respostas da 4ª questão das turmas 1 e 2 juntas:**

Essa questão tinha por objetivo avaliar os conhecimentos sobre a formação da imagem em um espelho plano. A resposta dada a essa questão pela maioria dos alunos foi surpreendente (Gráfico 4), pois, embora não tivessem estudado ainda o conteúdo, aproximadamente, 93% dos alunos marcaram corretamente como fica a letra F de frente para um espelho plano, ou seja, eles já compreendem que a imagem em um espelho plano invertida horizontalmente, ou seja, é enantiomorfa. Certamente, essa resposta deve-se à experiência do

aluno em seu dia-a-dia, quando, por exemplo, eles vão se arrumar para ir à escola, muito provavelmente, eles devem se olhar no espelho para se pentear e dessa forma, já devem ter percebido que a logomarca da escola aparece de forma contrária, ou seja, os subsunçores dos alunos ajudaram na resposta.

Gráfico 4 - Respostas fornecidas pelos alunos das turmas 1 e 2 ao pré-teste (Questão 4).



Fonte: Autoria própria (2020).

### 5) Você conhece quantos tipos de espelhos?

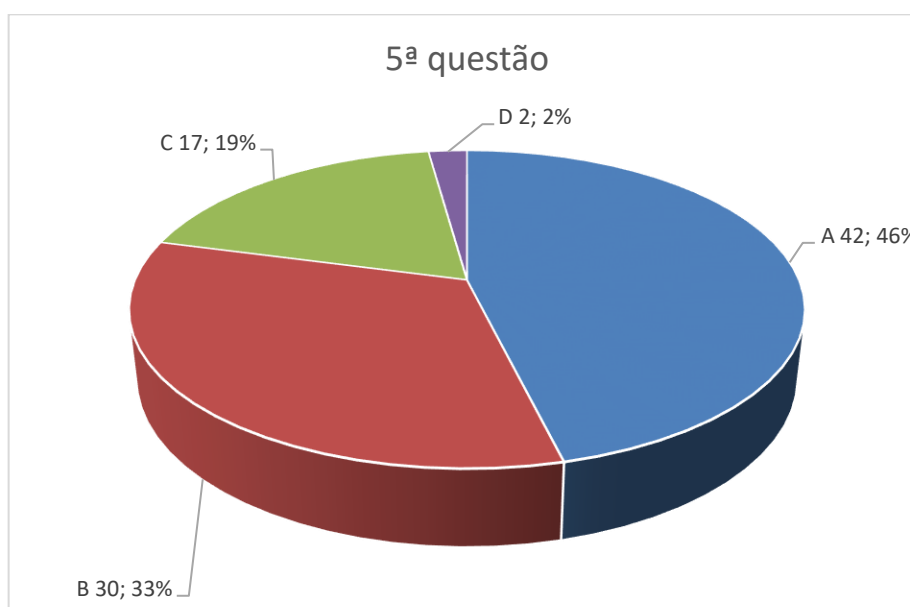
- a) 1      b) 2      c) 3      d) 4

#### Análise das respostas da 5ª questão das turmas 1 e 2 juntas:

Esta pergunta teve o caráter de avaliação pessoal dos tipos de espelhos que o aluno conhece, ou seja, não há uma resposta correta. A maioria dos alunos (Gráfico 5), em torno de 42%, responderam que conhecem apenas 1 tipo de espelho, ou seja, muito provavelmente, eles deram essa resposta pensando no espelho plano que é o mais comum no dia a dia. Uma média de 30% dos alunos respondeu que conhecem apenas 2 tipos de espelhos, em torno de 20% conhecem os 3 tipos de espelho (plano, côncavo e convexo) e 8% dos alunos acreditam que existem 4 tipos de espelhos. Provavelmente, os alunos que responderam

2 ou 3 tipos de espelhos, devem ter lembrado do espelho plano de sua casa e do espelho de maquiagem, que amplia a imagem, quando o observador se coloca entre o foco e o vértice do espelho, ou podem ter pensado no espelho convexo, observado nas portarias de alguns prédios, para auxiliar o porteiro. Dessa forma, percebe-se que os alunos tentaram recorrer aos subsunçores para chegar à resposta correta. Nesse caso, o professor poderá se valer dessa resposta para fazer a explanação no momento adequado, destacando a quantidade de espelhos. Quem respondeu 4 tipos de espelhos, deve ter pensado nos espelhos plano, côncavo, convexo e cilíndrico.

Gráfico 5 - Respostas fornecidas pelos alunos das turmas 1 e 2 ao pré-teste (Questão 5)



Fonte: Autoria própria (2020).

**6) Se separarmos a luz branca, quantas cores podem ser observadas?**

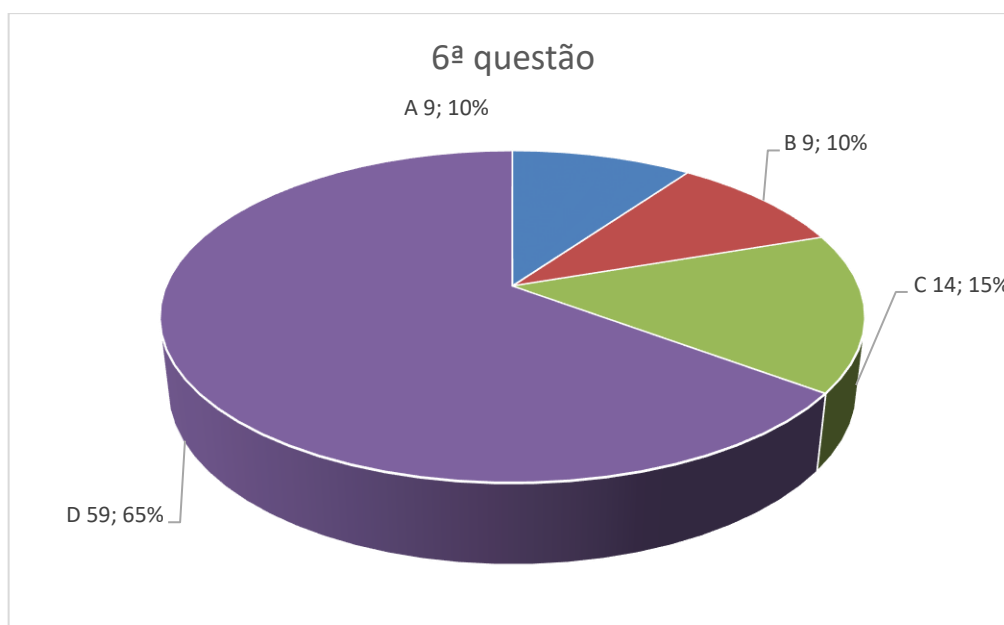
- a) 1      b) 4      c) 5      d) 7

**Análise das respostas da 6ª questão das turmas 1 e 2 juntas:**

Essa questão teve como objetivo avaliar se os alunos conhecem a constituição da luz branca, como uma luz policromática. A maioria dos alunos (Gráfico 6), em média 65%, disseram que a luz branca é constituída por 7 cores, já 15% dos alunos acham que a luz branca

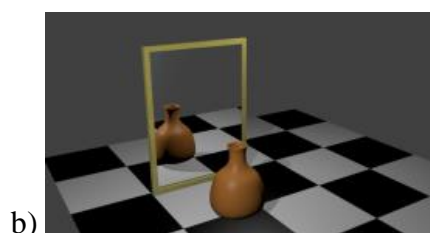
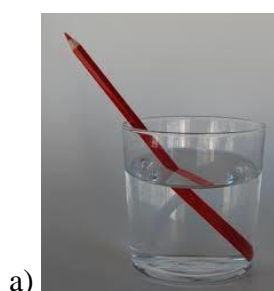
é constituída por 5 cores. Em média 10% acreditam que a luz branca é constituída por 4 cores e os outros 10% acham que a luz branca é monocromática. Os alunos que responderam corretamente, 7 cores, devem ter se lembrando que um arco-íris é constituído de 7 cores, ou seja, novamente, os alunos recorreram aos conhecimentos prévios para tentar chegar à resposta correta. Mas, para isso, eles precisaram deduzir que a luz branca é a luz solar, para poder dar o efeito do arco-íris. Aqueles que responderam que 1 cor apenas, provavelmente, não fez essa associação da luz branca com a luz solar.

Gráfico 6 - Respostas fornecidas pelos alunos das turmas 1 e 2 ao pré-teste (Questão 6).



Fonte: Autoria própria (2020).

**7) Na sua opinião, qual das imagens a seguir está diretamente relacionada com o estudo da óptica geométrica?**

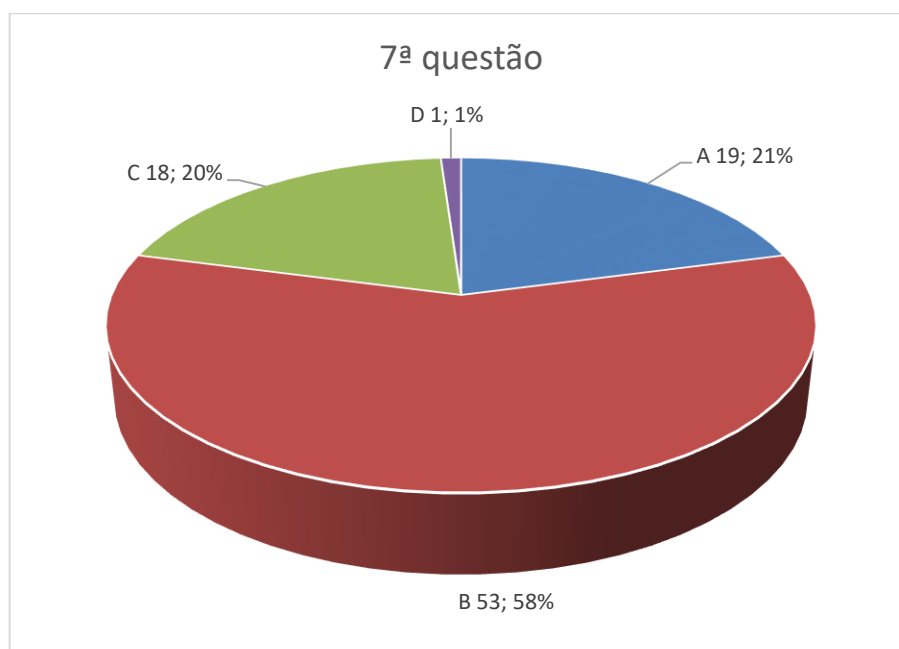




### Análise das respostas da 7ª questão das turmas 1 e 2 juntas:

Primeiramente, essa pergunta não tem uma única resposta correta. Esse questionamento teve o objetivo de analisar qual das imagens tem uma identidade com a Óptica Geométrica, para o estudante. Os alunos podiam marcar apenas um item. Foram colocadas 3 situações estudadas na óptica geométrica: refração, reflexão e uso das lentes. A quarta figura é a imagem de um motor, estando relacionada com a termodinâmica. A imagem que apresenta a reflexão da luz através de um espelho plano foi aquela com cerca de 60% das marcações (Gráfico 7), seguido da primeira figura com 21% que apresenta um lápis com a aparência de quebrado, situação essa estudada na refração luminosa. A terceira figura que apresenta as lentes divergentes de míope, teve em torno de 19%. A quarta figura, que apresenta um motor de um carro, praticamente não teve nenhuma marcação. Esses percentuais mostram que os alunos têm uma noção dos fenômenos que vão estudar na matéria de Óptica Geométrica.

Gráfico 7 - Respostas fornecidas pelos alunos das turmas 1 e 2 ao pré-teste (Questão 7).



Fonte: Autoria própria (2020).

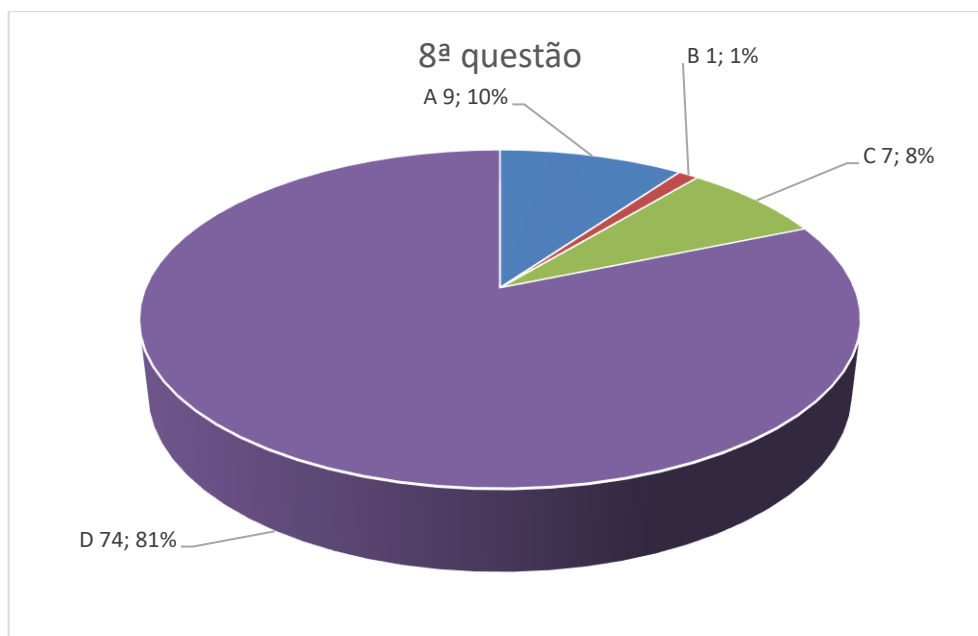
**8) Qual desses objetos (ou fenômenos) você não espera encontrar ao longo dos estudos de óptica geométrica?**

- a) Espelho.                      b) Lente.                      c) Miragem.                      d) Máquina térmica.

**Análise das respostas da 8ª questão das turmas 1 e 2 juntas:**

Essa pergunta foi bem simples sobre qual assunto não seria estudado na óptica geométrica e a resposta teve um percentual dentro do esperado (Gráfico 8), cerca de 82% das respostas foram de que a máquina térmica não será vista ao longo dos estudos de óptica geométrica. Isso mostra que os alunos têm uma noção do que verão nessa parte da Física. Em torno de 10% das respostas foi que o objeto espelho não seria estudado e os outros 8% acharam que os conteúdos de miragem e lentes não iam ser estudados. Isso mostra que uma pequena parcela no nosso espaço amostral, desconhecem os fenômenos relacionados com a Óptica Geométrica.

Gráfico 8 - Respostas fornecidas pelos alunos das turmas 1 e 2 ao pré-teste (Questão 8).



Fonte: Autoria própria (2020).

**9) Na sua opinião, como você gostaria que fossem as aulas de Física?**

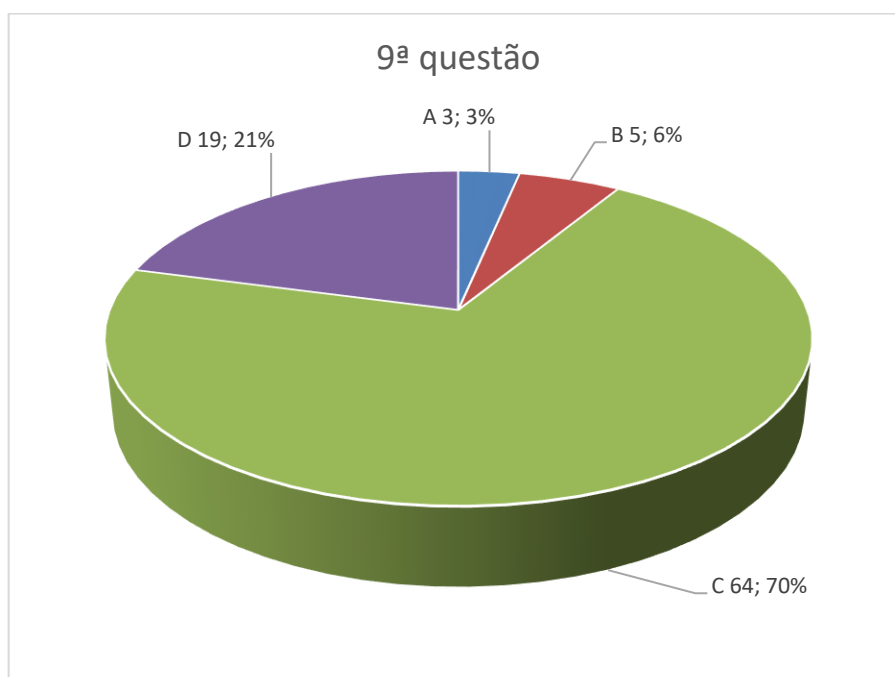
- a) Só aplicação de fórmulas.

- b) Apenas estudo teórico.
- c) Aulas teóricas, aplicação de fórmulas e experimentos lúdicos em sala de aula.
- d) Estudo teórico e utilização de experimentos lúdicos em sala de aula.

### **Análise das respostas da 9ª questão das turmas 1 e 2 juntas:**

Essa pergunta teve o objetivo de confirmar o que já vem sendo dito pelos especialistas sobre o ensino de Física nas escolas brasileiras. De acordo com o Gráfico 9, em torno de 70% dos alunos esperam que as aulas de Física sejam uma mistura de teoria, exercícios numéricos, com aplicações de fórmulas e com utilização de experimentos lúdicos acerca do conteúdo a ser estudado. Essas respostas vêm confirmar a importância do banco óptico, como produto dessa dissertação. Uma média de 20% dos alunos gostaria que as aulas de Física fossem apenas teóricas e com experimentos lúdicos sobre o conteúdo explicado. Provavelmente, esses alunos detestam matemática, pois eles descartariam os cálculos. Os outros itens foram a minoria, somando 10% das respostas, eles gostariam que as aulas de Física fossem apenas de teoria ou apenas usando fórmulas. Percebe-se que uma minoria dos alunos não gosta de aulas experimentais.

Gráfico 9 - Respostas fornecidas pelos alunos das turmas 1 e 2 ao pré-teste (Questão 9).



Fonte: Autoria própria (2020).



A Tabela 1 sintetiza a quantidade de alunos que marcou cada resposta dada ao pré-teste:

Tabela 1 - Quantitativo das respostas dadas em cada questão do pré-teste.

Pré-teste	A	B	C	D
Questão 1	18	49	17	7
Questão 2	4	13	65	9
Questão 3	0	82	0	9
Questão 4	4	1	83	3
Questão 5	42	30	17	2
Questão 6	9	9	14	59
Questão 7	19	53	18	1
Questão 8	9	1	7	74
Questão 9	3	5	64	19

Fonte: Autoria própria (2021).

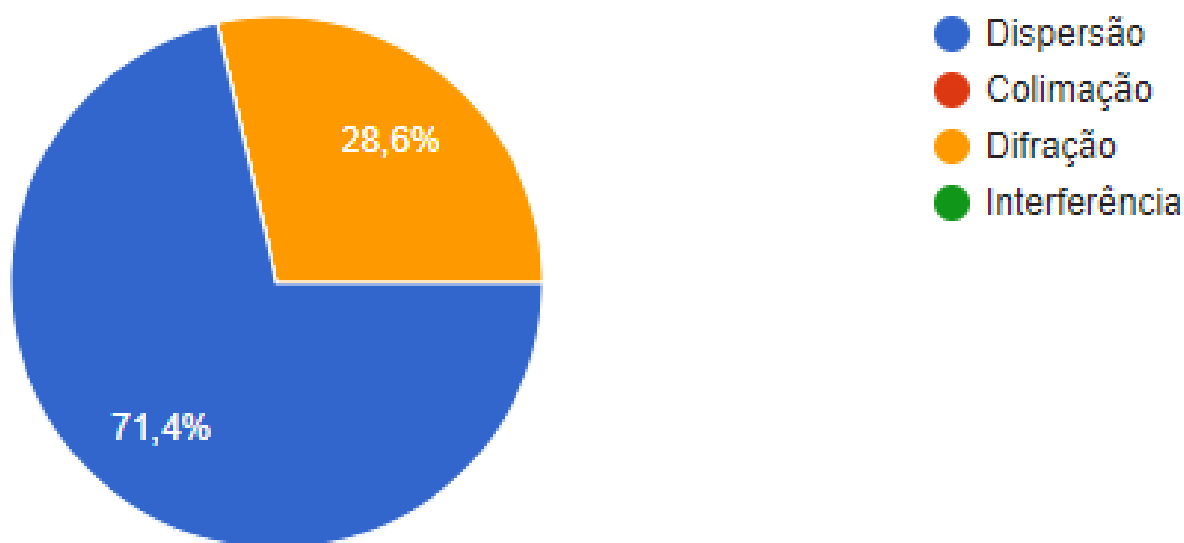
## 7.2 Análise das respostas do pós-teste

**1) Qual é o nome do fenômeno que ocorre com a luz solar para a formação de um arco-íris?**

- a) Dispersão.
- b) Colimação.
- c) Difração.
- d) Interferência.

Essa questão teve como objetivo avaliar se houve o aprendizado sobre o conteúdo de dispersão da luz branca. O aparato utilizado para a explicação do fenômeno foi o espectrômetro. O Gráfico 10 aponta que a maioria dos alunos, 71%, respondeu corretamente. Nenhum aluno achou que a resposta poderia ser colimação ou interferência. Isso mostra que a maioria dos alunos sabem algo sobre o fenômeno da dispersão da luz branca. Esse questionamento teve relação direta com a questão 6 do pré-teste que falava sobre a separação da luz branca. No pré-teste, percebeu-se que 65% dos alunos responderam corretamente e nos pós-teste 71% responderam corretamente. Dessa forma, pode-se perceber que houve uma pequena evolução de 6% dos alunos no aprendizado.

Gráfico 10 - Respostas fornecidas pelos alunos ao pós-teste (Questão 1).



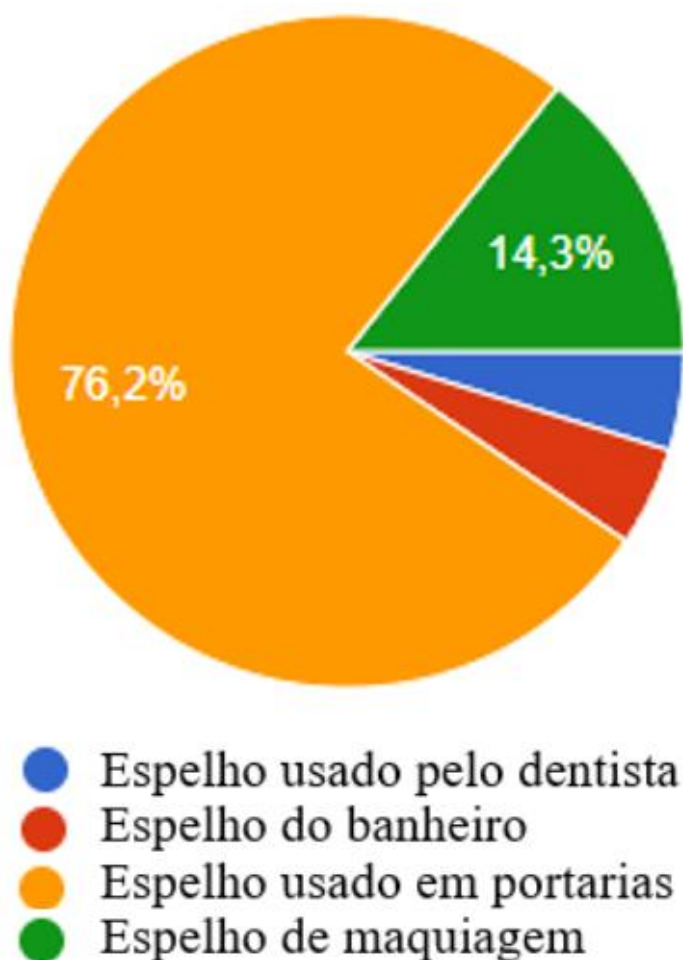
Fonte: Autoria própria (2020).

## 2) Marque uma opção com a aplicação correta de um espelho esférico convexo?

- a) Espelho usado pelo dentista.
- b) Espelho do banheiro de casa.
- c) Espelho usado em portarias de edifício.
- d) Espelho de maquiagem.

Essa questão foi escolhida para avaliar se os alunos conhecem as características da imagem de espelho convexo e onde ele pode ser utilizado no dia a dia. O Gráfico 11 aponta que 76% dos estudantes responderam corretamente. Analisando-se o gráfico, pode-se constatar que 14% dos alunos achavam que o espelho utilizado pelo dentista era convexo. Isso mostra que houve um aprendizado significativo sobre o tipo de imagem de cada espelho. Esse questionamento teve relação direta com a questão 5 do pré-teste que indagava sobre quantos tipos de espelhos os alunos conhecem. Acredita-se que a maioria dos alunos aprendeu sobre os espelhos quando o professor, antes da aplicação do experimento da associação de espelhos planos, pôde fazer um breve apanhado dos tipos de espelhos de nosso cotidiano e as características de suas imagens.

Gráfico 11 - Respostas fornecidas pelos alunos ao pós-teste (Questão 2).



Fonte: Autoria própria (2020).

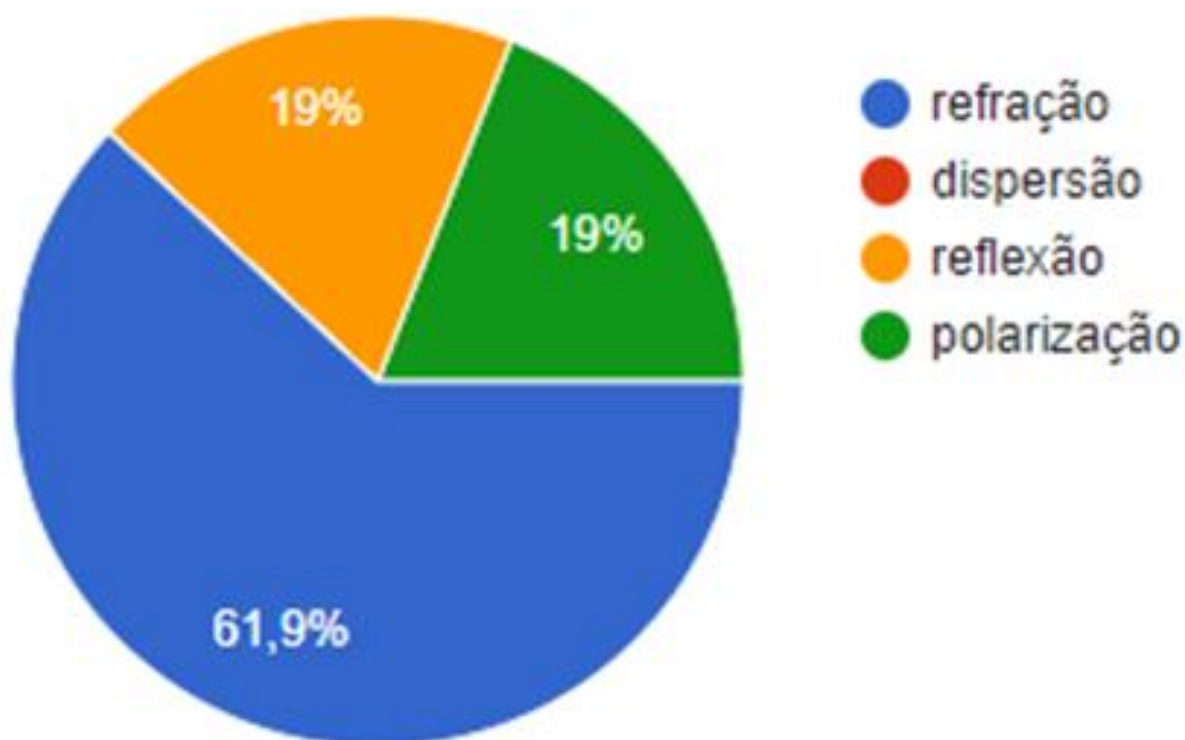
### 3) Qual dos fenômenos a seguir explica o funcionamento de uma lente?

- a) Refração.
- b) Dispersão.
- c) Reflexão.
- d) Polarização.

Essa questão teve como objetivo avaliar se os alunos compreendem qual é o fenômeno óptico que explica o funcionamento de uma lente. O Gráfico 12 indica que 62% dos alunos compreenderam que o fenômeno da refração sofrida pela luz ao passar do ar para a lente, norteia a aplicação das lentes, justificando o tipo de imagem gerada. Logo, houve um

aprendizado significativo com a prática envolvendo o manuseio de lentes convergente e divergentes em sala de aula. Acredita-se que a maioria dos alunos aprendeu sobre o funcionamento de uma lente esférica, quando o professor, antes da aplicação do experimento das lentes, pôde fazer um breve apanhado dos tipos de lentes, o seu funcionamento e as aplicações em nosso cotidiano, bem como as características de suas imagens.

Gráfico 12 - Respostas fornecidas pelos alunos ao pós-teste (Questão 3).



Fonte: Autoria própria (2020).

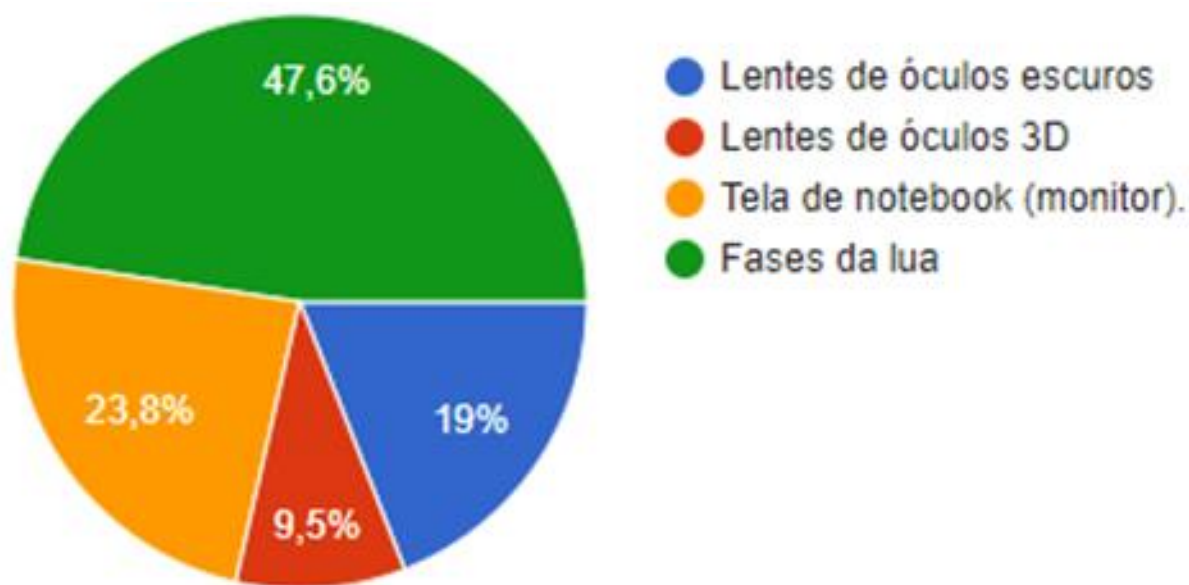
**4) Em qual dos itens a seguir a polarização não está presente?**

- a) Lentes de óculos escuros
- b) Lentes de óculos 3D
- c) Tela de notebook (monitor).
- d) Fases da lua

Essa questão foi escolhida com o objetivo de avaliar se houve a compreensão dos conceitos de polarização. Analisando-se as respostas (Gráfico 13), percebe-se que boa parte

da turma, em torno de 50%, compreende onde o fenômeno de polarização está presente no dia a dia, mostrando que houve aprendizado razoável por boa parte dos alunos. Acredita-se que a maioria dos alunos aprendeu sobre a polarização, quando o professor, antes da aplicação do experimento das películas polarizadas, pôde fazer um breve apanhado de como ocorre a polarização e como ela pode ser aplicada.

Gráfico 13 - Respostas fornecidas pelos alunos ao pós-teste (Questão 4).



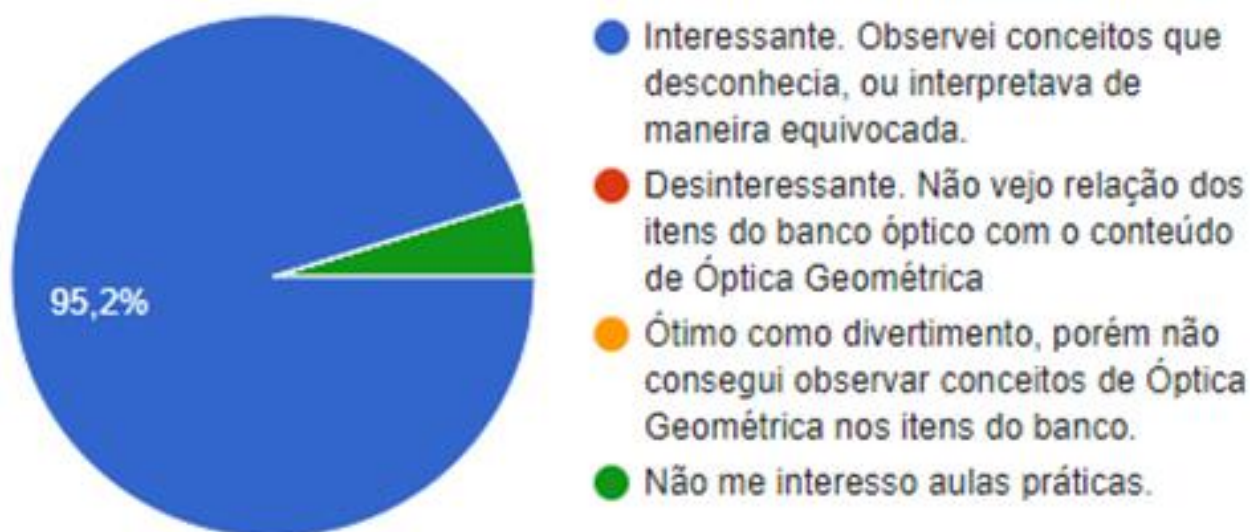
Fonte: Autoria própria (2020).

##### 5) O que você achou do *Banco óptico* como ferramenta de aprendizagem de Óptica Geométrica?

- a) Interessante. Observei conceitos que desconhecia, ou interpretava de maneira equivocada.
- b) Desinteressante. Não vejo relação dos itens do banco óptico com o conteúdo de Óptica Geométrica.
- c) Ótimo como divertimento, porém não consegui observar conceitos de Óptica Geométrica nos itens do banco.
- d) Não me interesse aulas práticas.

Essa questão é uma pesquisa de satisfação sobre a aplicação do produto educacional, o banco óptico. Nota-se que 95% da turma gostaram (Gráfico 14), pois os alunos puderam observar conceitos que desconheciam ou interpretavam de maneira equivocada. Isso mostra claramente que o banco óptico pode e deve ser usado nas aulas de óptica.

Gráfico 14 - Respostas fornecidas pelos alunos ao pós-teste (Questão 5).



Fonte: Autoria própria (2020).

**6) Qual item do banco óptico você achou mais interessante?**

- a) Disco de Newton
- b) Espectrômetro
- c) Câmara escura de orifício
- d) Associação de espelhos planos.
- e) Películas polarizadas
- f) Lentes

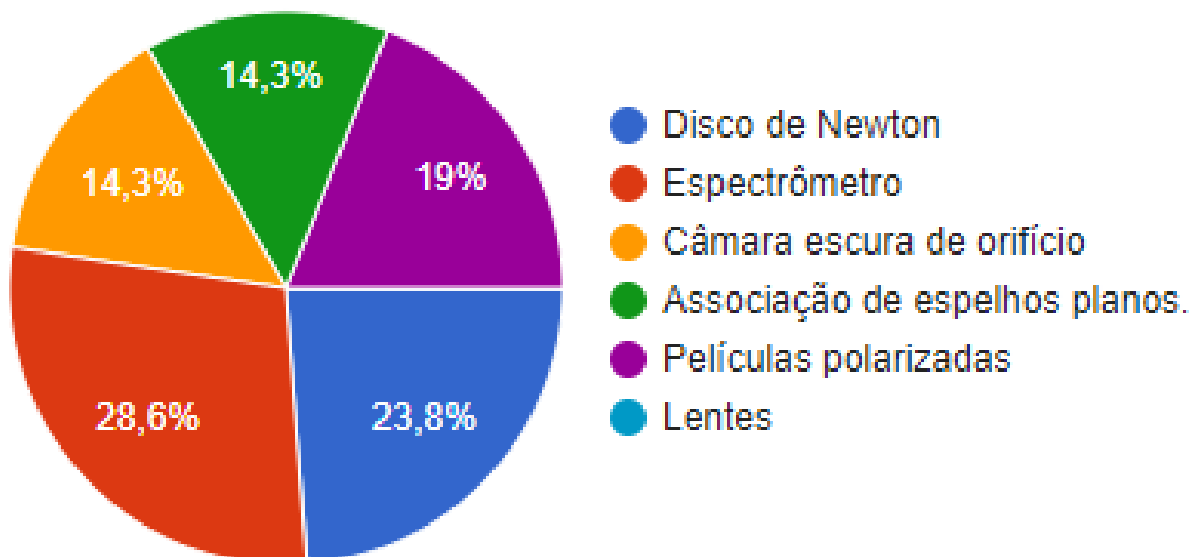
Figura 96 - Itens do Banco óptico.



Fonte: Autoria própria (2020).

Esse questionamento foi feito para avaliar qual dos itens do banco óptico o estudante gostou mais (Figura 95). Analisando-se as respostas, percebe-se que houve uma divisão na preferência por cada item do banco (Gráfico 24). O item mais votado com 29% foi o espectrômetro e os menos votados, ocorreu um empate entre a associação de espelhos planos e a câmara escura de orifício com 14,3% cada um. Provavelmente, esses experimentos com menor percentual, deve-se ao fato de serem experimentos clássicos, facilmente encontrados no *You Tube*.

Gráfico 15 - Respostas fornecidas pelos alunos ao pós-teste (Questão 6).



Fonte: Autoria própria (2020).

**Por favor, deixe algum comentário, sugestão ou crítica sobre a aula prática que tivemos no primeiro dia de aula do ano.**

No final do teste, foi deixado aberto para o aluno explicitar algum comentário ou crítica construtiva ao produto educacional. As respostas foram extremamente positivas, dentre elas pode-se destacar alguns trechos compilados na frase abaixo:

*“O produto é interessante e agrega muito, deixando a aula dinâmica, divertida, proporcionando um grande aprendizado, facilitando a compreensão dos conceitos, sendo muito bom poder observar a teoria na prática”.*



## 8 CONCLUSÃO

Portanto, este trabalho foi desenvolvido para servir como suporte para os professores de Física devido à necessidade de uma ferramenta lúdica que permita ao aluno aprender de forma consistente o conteúdo de Óptica Geométrica, estudando o conteúdo teórico, nas abordagens feitas pelo docente em sala de aula, complementando com a prática do banco óptico proposto.

Espera-se que o discente possa compreender os fenômenos de refração, reflexão, dispersão e polarização de uma forma mais prazerosa, fugindo do ensino tradicional, onde o estudante apenas copia o conteúdo ministrado pelo professor, decora algumas fórmulas e depois esquece tudo.

Vale à pena destacar que no dia da aplicação do produto educacional, os alunos tiveram uma postura totalmente diferente do comportamento que eles costumam ter nas aulas tradicionais. Eles participaram, se empolgaram, questionaram, prestaram atenção, sempre buscando compreender como cada item do banco óptico funcionava. Sem dúvida nenhuma, foi um momento extremamente proveitoso de muita troca de conhecimentos e aprendizado.

Corroborando com isso as respostas dadas pelos estudantes acerca de alguns fenômenos indagados no pós- teste, bem como a questão que avaliava a satisfação da aplicação do banco óptico, em sala de aula, nos leva a crer que os discentes além de terem fixado o conteúdo, eles gostam de aulas onde o professor faça uma abordagem prática paralelamente ao conteúdo teórico ensinado. Aproximadamente, 95% dos alunos acharam o banco óptico interessante, pois conseguiram observar conceitos que desconheciam ou interpretavam de maneira equivocada.

A utilização do banco óptico irá despertar a curiosidade e a participação dos alunos. Esse fato foi confirmado durante a aplicação da prática onde aqueles alunos que nunca participavam das aulas tradicionais passaram a ter um comportamento participativo e crítico, buscando o conhecimento.

Percebeu-se que o banco óptico obteve êxito pedagógico. Isso pode ser constatado a partir do percentual às respostas dadas por eles no pós-teste, como, por exemplo:

71% dos alunos responderam corretamente que a dispersão da luz era o principal fenômeno para a formação do arco-íris.

76% dos alunos responderam corretamente uma aplicação do espelho convexo que é nas portarias dos edifícios.

62% dos alunos responderam perfeitamente que o principal fenômeno que justifica o funcionamento de uma lente esférica é a refração.

48% dos alunos conseguiram perceber onde a polarização da luz não pode ser empregada.

## REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, M.S.T. e ABIB, M.L.V.S. – **Atividades Experimentais no ensino de Física: diferentes enfoques, diferentes finalidades** – Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 25, n. 2, 2003.
- BARROSO, F.F.; CARVALHO, S.A.; HUGUENIN, J.A.O.; TORT, A.C. - **Formação de imagens na óptica geométrica por meio do método gráfico de Pierre Lucie** – Revista Brasileira de Ensino de Física, vol.40, n. 2, 2018.
- BÔAS, N. V.; DOCA, R. H.; BISCUOLA, G. J. **Conecte Física** – Volume 2, pag. 377 e 378. Editora Saraiva, 2011.
- PRIBERAM (Dicionário). <https://dicionario.priberam.org/subsumir-se>. Acessado em 28 de fevereiro de 2021.
- DIETRICH, B.; BECKER, C.; BATISTA, D. **Óptica, luz e cores: uma proposta inovadora para o ensino de Física** - Licenciada em Matemática pela Faculdade Cenequista de Osório – FACOS.
- FELICETTI, S. A.; PASTORIZA, B. S. **Aprendizagem significativa e ensino de ciências naturais: um levantamento bibliográfico dos anos de 2000 a 2013**. Aprendizagem Significativa em Revista/Meaningful Learning Review. V5(2), pp. 01-12, 2015.
- GASPAR, A.; MONTEIRO, I.C.C **Atividades experimentais de demonstrações em sala de aula: uma análise segundo o referencial da teoria de Vygotsky** - Investigações em Ensino de Ciências – V10(2), pp. 227-254, 2005.
- GASPAR, A. **Compreendendo a Física** – Volume 2, pag. 184 2ª edição, São Paulo, 2013.
- GOMES, A. P.; COELHO, U. C.; CAVALHEIRO, P. O.; GONÇALVES, C. A. N.; RÔÇAS, G.; BATISTA, R. S.; **A Educação Médica entre mapas e âncoras: a aprendizagem significativa de David Ausubel, em busca da Arca Perdida** – Revista Brasileira em Educação, vol.32, no.1, Rio de Janeiro, Jan./Mar. 2008.
- GOVÊA, T. S; **Obtenção de imagens através da difração da luz por CDs**. Relatório final apresentado, sob recomendação da disciplina f 809 da UNICAMP, São Paulo, jul.2004.
- HALLIDAY, D.; WALKER, J.; RESNICK, R. **Fundamentos de Física**. 8ª ed., Rio de Janeiro: LTC, 2009.
- HELOU, D.; GUALTER, J.B.; NEWTON, V.B. **Tópicos de Física**. 1ª edição vol. 19. São Paulo, Editora Saraiva 2012.
- HEWITT, P.G. **Física Conceitual**, 9ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2015. KNIGHT, R.D. **Física: uma abordagem estratégica: Óptica Geométrica**. 2ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2009, v. 2, 700 p.
- JÚNIOR, E.P.V.; **A utilização do jogo “big bang: a batalha da criação” como ferramenta auxiliar no ensino de cosmologia**, Faculdade de Educação, Ciências e Letras do Sertão Central, Universidade Estadual do Ceará; Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Mestrado Profissional em Ensino de Física, 2018.

MANCINI, A.A; **Aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel** - Escola da Magistratura do Estado do Rio de Janeiro, 2015.

NETO, J. A. S. P. **Teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel: perguntas e respostas**. Série-Estudos - Periódico do Mestrado em Educação da UCDB. Campo Grande, MS, n. 21, p.117-130, jan./jun. 2006.

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física Básica 4: Ótica, Relatividade e Física Quântica**. São Paulo: E. Blücher, 1998.

**PCN+ - Ensino Médio Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais**

PELIZZARI, A.; KRIEGL, M.A.; BARON, M.P; FINCK, N.T.L.; DOROCINSKI, S.L.; **Teoria da aprendizagem significativa segundo Ausubel** – Rev. PEC, Curitiba, v. 2, n. 1, p. 41-42, jul. 2001-jul. 2002.

PRAIA, J. F., **Teoria da Aprendizagem Significativa** - Contributos do III Encontro Internacional sobre Aprendizagem Significativa, Peniche, 2000.

SERÉ, M.G.; COELHO, S.M.; NUNES, A.D.; **O papel da experimentação no ensino de Física** - Cad. Bras. Ens. Fís., v. 20, n.1: 30-42, abr. 2003.





SILVA, M.A.; JÚNIOR, A.D.T; **A importância do Ensino da Óptica para o desenvolvimento das tecnologias modernas** - XVI Simpósio Nacional de Ensino de Física jan.2005. VERGARA, D.A.; BUCHWEITZ, B. **O uso de um vídeo no estudo do fenômeno de refração da luz**.

YOUNG, H D.; FREEDMAN, R A., **FÍSICA IV - ÓTICA E FÍSICA MODERNA**, 14a ed. São Paulo, Pearson, 2016.

## APÊNDICE A - ANÁLISE DOS CONHECIMENTOS PRÉVIOS EM ÓPTICA GEOMÉTRICA

O questionário a seguir teve por objetivo identificar o conhecimento prévio dos alunos acerca dos conhecimentos básicos de Óptica Geométrica. Optou-se por não identificar o estudante.

### Questionário

- 1) Você tem interesse por fenômenos ligados à luz?
  - a) Tenho pouco interesse.
  - b) Acho interessante, porém não conheço muito.
  - c) Acho muito interessante, mas desconheço os fenômenos.
  - d) Tenho muito interesse e conheço alguns fenômenos ligados à propagação da luz.
  
- 2) O que você espera estudar sobre o conteúdo de óptica geométrica?
  - a) Apenas cálculo
  - b) Apenas teoria
  - c) Cálculo e teoria equiparados
  - d) Muitos cálculos e pouca teoria.
  
- 3) Quais dos fenômenos abaixo você acredita que pode ser explicado pela óptica?
  - a) Funcionando do motor de um carro.
  - b) Formação de um arco íris.
  - c) Derretimento de um bloco de gelo.
  - d) Descarga elétrica durante uma tempestade.
  
- 4) Na sua opinião, como se apresentaria a imagem da letra "F" diante de um espelho?
  - a) 
  - b) 
  - c) 
  - d) 

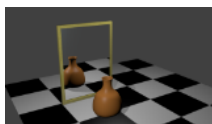
5) Você conhece quantos tipos de espelhos?

- a) 1    b) 2    c) 3    d) 4

6) Se separarmos a luz branca, quantas cores podem ser observadas?

- a) 1    b) 4    c) 5    d) 7

7) Na sua opinião, qual das imagens a seguir está diretamente relacionada com o estudo da óptica geométrica?



8) Qual desses objetos (ou fenômenos) você não espera encontrar ao longo dos estudos de óptica geométrica?

- a) Espelho    b) Lente    c) Miragem    d) Máquina térmica

9) Na sua opinião, como você gostaria que fossem as aulas de Física?

- a) Só aplicação de fórmulas.  
b) Apenas estudo teórico.  
c) Aulas teóricas, aplicação de fórmulas e experimentos lúdicos em sala de aula.  
d) Estudo teórico e utilização de experimentos lúdicos em sala de aula.

## APÊNDICE B - QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO DE APRENDIZAGEM DOS ALUNOS

Este questionário visa identificar o conhecimento retido pelo aluno após a aplicação do de cada item do banco óptico e analisar o grau de satisfação com a aplicação do produto deste trabalho. Esse questionário foi feito de forma virtual pela plataforma Google Forms. Optou-se por não identificar o estudante.

1) Qual é o nome do fenômeno que ocorre com a luz solar para a formação de um arco-íris?

- a) Dispersão
- b) Colimação
- c) Difração
- d) Interferência

2) Marque uma opção com a aplicação correta de um espelho esférico convexo?

- a) Espelho usado pelo dentista.
- b) Espelho do banheiro de casa
- c) Espelho usado em portarias de edifício
- d) Espelho de maquiagem

3) Qual dos fenômenos a seguir explica o funcionamento de uma lente?

- a) refração
- b) dispersão
- c) reflexão
- d) polarização

4) Em qual dos itens a seguir a polarização não está presente?

- a) Lentes de óculos escuros
- b) Lentes de óculos 3D

- c) Tela de notebook (monitor).
- d) Fases da lua
- 5) O que você achou do jogo **Banco óptico** como ferramenta de aprendizagem de Óptica Geométrica?

Figura 96 - Itens do banco óptico.



Fonte: Autoria própria (2020).

- a) Interessante. Observei conceitos que desconhecia, ou interpretava de maneira equivocada.
- b) Desinteressante. Não vejo relação dos itens do banco óptico com o conteúdo de Óptica Geométrica
- c) Ótimo como divertimento, porém não consegui observar conceitos de Óptica Geométrica nos itens do banco.
- d) Não me interesse aulas práticas.
- 6) Qual item do banco óptico você achou mais interessante?
- a) Disco de Newton
- b) Espectrômetro
- c) Câmara escura de orifício
- d) Associação de espelhos planos.
- e) Películas polarizadas
- f) Lentes



**APÊNDICE C - MANUAL DE APLICAÇÃO DO PRODUTO O BANCO ÓPTICO  
COMO FERRAMENTA LÚDICA PARA O ENSINO DE ÓPTICA GEOMÉTRICA**

**PRODUTO EDUCACIONAL**

**RODRIGO LINS MENDES LOBO**

**O BANCO ÓPTICO COMO FERRAMENTA LÚDICA PARA O ENSINO DE  
ÓPTICA GEOMÉTRICA**

Produto Educacional da Dissertação de Mestrado apresentado ao Programa de Pós-Graduação de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Prof. Dr. Marcos Antônio Araújo Silva

## PRODUTO EDUCACIONAL

### MANUAL DE APLICAÇÃO DO PRODUTO



O BANCO ÓPTICO COMO FERRAMENTA LÚDICA PARA O ENSINO DE ÓPTICA  
GEOMÉTRICA

RODRIGO LINS MENDES LOBO

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>APRESENTAÇÃO</b>	<b>4</b>
1.1	Objetivos gerais; habilidades e competências	4
1.2	Os materiais utilizados no banco óptico	5
1.3	Descrição dos itens do banco óptico	6
1.4	Instruções para o uso da sequência didática	10
<b>2</b>	<b>SEQUÊNCIA DIDÁTICA</b>	<b>13</b>
2.1	Primeiro passo: Pré-teste	13
2.2	Segundo passo: Aplicação do banco óptico	15
2.3	Terceiro passo: Debates	24
2.4	Quarto passo: Pós-teste	25
<b>3</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>30</b>

## **1 APRESENTAÇÃO**

Os professores do ensino médio de um modo geral, muitas vezes se deparam com a ausência de um laboratório de Física nas escolas e quando elas possuem laboratório, eles não dispõem de equipamentos de Óptica Geométrica.

A minha experiência em sala de aula no ensino da óptica geométrica me fez perceber que as aulas tradicionais com pincel e quadro branco fazem com que os alunos sejam apenas meros expectadores, não tendo interesse algum pelo conteúdo ensinado. Tive que pensar em algo em que os estudantes pudessem ver o fenômeno ocorrendo e se perguntarem admirados o porquê que aquilo está acontecendo. O banco óptico tem o papel de aguçar mais a curiosidade dos alunos e fazer com que eles participem de maneira mais crítica das aulas teóricas, servindo de suporte indispensável para os professores ao longo de suas aulas.

Este manual tem como objetivo nortear os professores do ensino médio acerca da utilização do banco óptico como ferramenta para suas aulas. Nos dias de utilização dos itens do banco óptico, os docentes perceberão uma maior interação por parte dos alunos com questionamentos, aplicação, debates, enriquecendo o processo de ensino e aprendizagem.

A sugestão do sequenciamento de atividades deste banco óptico objetiva aprendizagem significativa por parte dos discentes de uma forma lúdica, fazendo com que os alunos possam, baseado no seu conhecimento prévio, extrair o máximo de aprendizado das aulas de Óptica e que possam relacioná-los com situações do cotidiano. Este banco óptico é composto pelos seguintes itens: espectrômetro, câmara escura, disco de Newton, associação de espelhos planos, utilização das lentes e película polarizadora.

### **1.1 Objetivos gerais; habilidades e competências**

#### **Objetivos Gerais**

- Aplicar os aprendizados nas aulas de óptica no cotidiano do aluno.
- Incentivar o senso crítico do discente, através dos conhecimentos em óptica geométrica, sobre as situações problema de sua realidade.
- Desenvolver no aluno uma rotina de estudo por Física de forma prazerosa por meio da aprendizagem significativa.

**Habilidades e competências a serem desenvolvidas:**

- Compreender a teoria de forma correta para poder aplicá-la nas situações da vida.
- Incentivar os discentes a pesquisarem sobre os conteúdos científicos relacionados com o tema de cada aula de Óptica.
- Permitir que o aluno exponha suas opiniões frente aos assuntos que estão sendo abordados, sempre fazendo as devidas correções e complementos para o seu crescimento.

**1.2 Os materiais utilizados no banco óptico**

A aquisição dos materiais para confeccionar um banco óptico dessa proposta pedagógica pode ser encontrado de forma relativamente fácil. Abaixo, seguem os materiais utilizados e onde encontrá-los:

**Materiais adquiridos em papelaria:**

- Um CD antigo;
- Estilete;
- Tesoura;
- Cartolina preta;
- Papel vegetal;
- Fita crepe;
- Vela;
- Fósforo;
- Estojo de giz de cera;
- Pilha AAA;
- Tampa de caneta;
- Borracha escolar;

- Transferidor.

**Materiais encontrados em depósito de material de construção:**

- Tubo de PVC de 5 polegadas;
- 2 CAPS para o tubo de 5 polegadas;
- Tubo de PVC (25 mm);
- CAP para o tubo de 25 mm.

**Loja de produto importado:**

- Motorzinho de brinquedo;
- Lente esférica convergente de lupa;
- Lente esférica divergente de luneta de brinquedo;
- Dois pequenos espelhos planos.

**Oficina de computador**

- Dois pedaços de película de tela de notebook.

**1.3 Descrição dos itens do banco óptico**

Nesta seção, vamos apresentar os itens do banco óptico, descrevendo os materiais utilizados e destacar brevemente a relação do conteúdo teórico ensinado, em sala de aula, com cada item do banco óptico.

**Espectrômetro**

O espectrômetro foi construído com materiais encontrados em depósito de construção, tais como: um tubo de PVC, tampa para o tubo e um CD ou DVD encontrado em papelaria. Ele tem como papel reproduzir o efeito que o prisma de Newton e as gotículas de água fazem ao serem atravessados pela luz solar. O espectrômetro foi construído com o intuito de poder mostrar ao estudante que a luz branca é policromática e que ela pode ser decomposta quando ela sofre o fenômeno de difração em uma rede de difração, separando nas cores que compõe o arco-íris, na sequência:

Vermelho, alaranjado, amarelo, verde, azul, anil e violeta.

O espectrômetro foi construído utilizando um tubo de PVC de 25 mm de diâmetro, com 15 cm de comprimento, dois caps para tubo de PVC de 25 mm e uma lente de acrílico, retirada de um CD. A montagem do espectrômetro é bem simples, basta cortar o fundo de um dos caps, encaixando a lente de acrílico no tubo, no outro cap, deve-se fazer uma fenda de 18 mm de comprimento com uma espessura de 1 mm. Essa fenda pode ser feita utilizando-se uma cerra. É importante que a fenda seja colocada perpendicularmente às ranhuras da lente, para que o aluno possa observar o espectro de ondas eletromagnéticas.

Figura 1 - Par de espectrômetros.



Fonte: Autoria própria (2021).

### **Câmara Escura**

A câmara escura (Figura 2) foi feita com tubo de PVC, tampa para o tubo, cartolina preta, papel vegetal, fita crepe, fósforo e vela. Essa câmara se diferencia de outras câmaras, pois ela pode ter a sua profundidade ajustável, propiciando ao aluno observar o comportamento da imagem a cada ajuste. A câmara escura tem como fundamento básico de funcionamento o princípio da propagação retilínea da luz. Para a construção da câmara, fez-se um orifício na tampa do tubo de PVC e conectou a uma das extremidades do tubo, em seguida, fez-se um corte transversal de 20 cm no tubo. A cartolina foi enrolada em forma de



cilindro, colando-se o papel vegetal em uma das extremidades. Conectou-se uma das extremidades no tubo, direcionando o orifício para a chama de uma vela acesa. Pode-se ver a imagem real e diminuída da chama da vela projetada no papel vegetal.

Figura 2 - Câmara escura.



Fonte: A autoria própria (2021).

### **Disco de Newton**

O Disco de Newton (Figura 3) foi utilizando uma cartolina branca, giz de cera, motorzinho de brinquedo e pilha para o funcionamento. A utilização do motorzinho é opcional, caso o professor queira, ele pode girar o disco utilizando uma vareta ou um lápis. O Disco de Newton tem o intuito de mostrar o efeito contrário da dispersão da luz branca, quando se faz com que a mistura dos raios luminosos em cada setor circular do disco se juntem resultando a luz branca. Para a construção do disco, corta-se um círculo de raio 5 cm em seguida, faz-se 7 seções circulares com aproximadamente o mesmo ângulo pintando cada setor circular com as cores do arco-íris, seguindo a seguinte sequência: vermelho, alaranjado, amarelo, verde, azul, anil e violeta. Conecta-se o disco colorido ao motorzinho e faça-o girar.

Figura 3 - Disco de Newton.

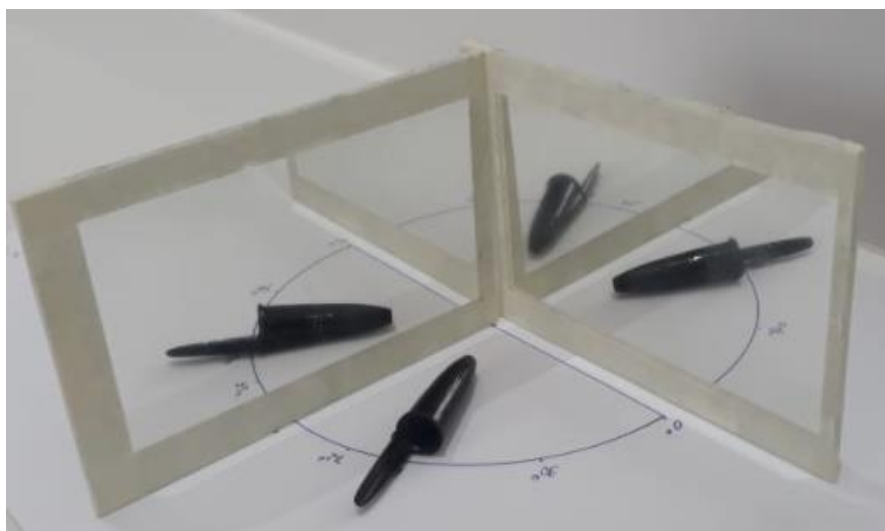


Fonte: Autoria própria (2021).

### Associação de espelhos planos

A associação de espelhos planos proporcionará a visualização das múltiplas imagens na prática e a relação entre o ângulo entre os espelhos e a número de imagens formadas. Para fazer a associação de espelhos planos (Figura 4), foi utilizado um par de espelhos planos, fita crepe, para colar nas bordas do espelho para evitar acidentes, uma borracha escolar, para servir como objeto e um transferidor para graduar os ângulos que os alunos farão a prática. Com o auxílio de um transferidor, demarcaram-se alguns ângulos notáveis, tais como:  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $90^\circ$ . Fez-se a abertura de cada espelho, em cada ângulo, anotando-se a quantidade de imagens que é formada, até conjecturar uma equação para o cálculo do número de imagens.

Figura 4 - Associação de espelhos planos.



Fonte: Autoria própria (2021).

## Utilização das lentes

As lentes utilizadas no banco óptico (Figura 5) são lentes esféricas convergentes e divergentes, retiradas de óculos de grau antigos, lupa ou binóculo infantil. O experimento com as lentes permitirá aos alunos que observem as características das imagens de cada lente, bem como os efeitos da associação e da justaposição de lentes.

Figura 5 - Lentes esféricas.



Fonte: Autoria própria (2021).

## Película polarizadora

A película polarizadora (Figura 6) foi adquirida a partir dos monitores de computador inutilizados em oficinas. A película polarizadora proporcionará ao estudante constatar se a luz que chega aos seus olhos é polarizada ou não. Isso fará com que ele compreenda o funcionamento dos óculos 3D, tela de notebook e óculos escuros.

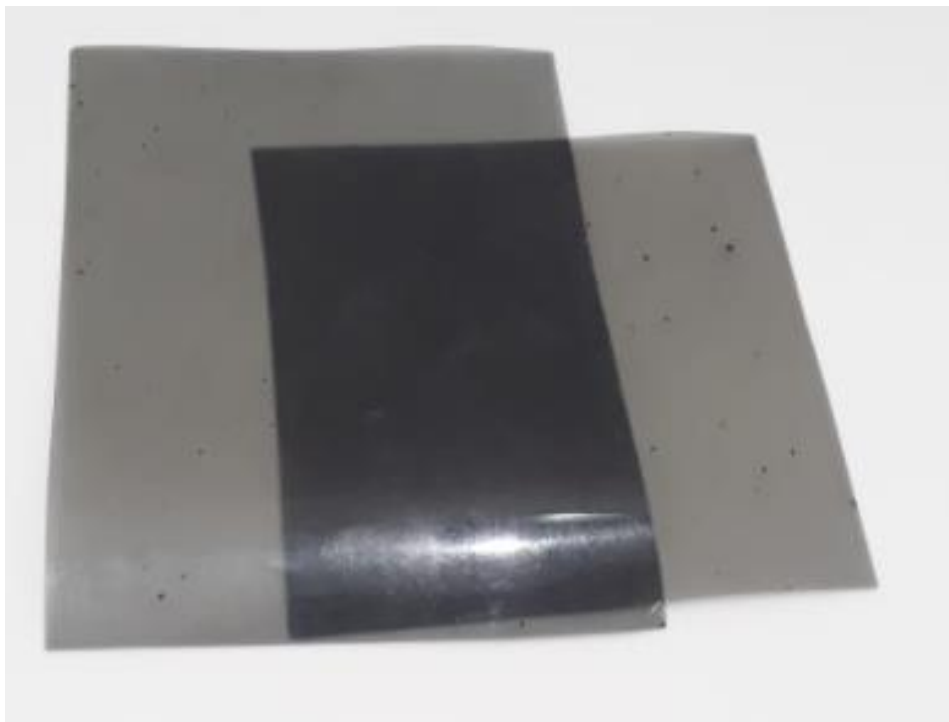
### 1.4 Instruções para o uso da sequência didática

Vamos propor uma sequência didática para que o aluno se aproprie de uma aprendizagem significativa do conteúdo. É interessante que o professor investigue quais são os conhecimentos prévios dos alunos sobre o conteúdo.

Para a utilização do banco óptico, sugere-se ao professor que opte por uma das estratégias em sua aula:

I) Utilização de todos os itens do banco óptico antes do conteúdo teórico a ser ensinado, com intuito de aguçar a curiosidade do aluno e fazer com que ele assista às aulas de óptica com o objetivo de tentar desvendar, através da compreensão do tema, como cada item do banco óptico funciona. Nesse caso, o banco óptico terá o papel de estimular o aluno para os estudos de óptica geométrica.

Figura 6 - Par de películas polarizadoras.



Fonte: Autoria própria (2021).

Nessa opção por parte do docente, sugere-se que o professor divida a turma em grupos de 6 alunos, para a utilização do banco óptico. Nesse caso, é interessante que o professor construa uma quantidade de bancos ópticos que englobe toda a turma. Por exemplo, uma turma com 30 alunos, é interessante que o professor disponha de 5 bancos ópticos. A quantidade de grupos de 6 alunos foi pensada para que cada componente da equipe tenha em mão um item do banco óptico para manusear, isso fará com que o aluno não fique disperso ao longo da aula. Para que todos os alunos possam analisar cada item do banco óptico, sem pressa, é interessante que o professor utilize 2 aulas para a prática. Essa quantidade de aulas não prejudicará o cronograma das aulas, permitindo que todo conteúdo previsto no plano de aula seja contemplado com tranquilidade.

Caso se faça a opção por aplicar todos os itens do banco óptico no início do ano, antes do conteúdo ser visto, para deixar o aluno curioso, sugiro que seja feito em 3 aulas, usando 2 experimentos em cada aula, seguindo a seguinte sugestão:

1ª aula: Câmara escura e associação de espelhos.

2ª aula: Espectrômetro e o disco de Newton.

3ª aula: Películas polarizadoras e a utilização das lentes.

II) Utilização de cada item do banco óptico, ao longo do ano letivo, separadamente, à medida que o professor vai explicando cada conteúdo.

Nessa opção de utilização do banco óptico, o professor utilizará 5 aulas distribuídas ao longo do ano letivo, cada aula será utilizada à medida que o conteúdo for sendo estudado. Aconselha-se que o professor divida a turma em grupos de 5 alunos, pois, dessa forma, ele poderá organizar e controlar melhor a turma, podendo gerenciar a utilização daquele item do banco óptico por cada aluno do grupo. Por isso que é interessante o professor dispor de uma quantidade de bancos ópticos para poder compartilhar com os alunos, dessa forma, vários alunos poderão manusear o item do banco óptico proposto para aquela aula, ao mesmo tempo.

Durante a aplicação dos itens do banco óptico, o professor deve fazer uma simples explicação para que os alunos possam compreender cada item do banco de forma bem didática. O docente deve instruir os alunos a executarem alguns procedimentos em cada experimento, tais como, aproximar o objeto, alterar o ângulo, girar as películas, juntar as lentes para ver o que ocorria com a imagem, descrever a sequência das cores observadas.

## 2 SEQUÊNCIA DIDÁTICA

A sequência didática proposta a seguir visa nortear o docente quanto à utilização do banco óptico, como ele deverá proceder para obter um melhor aproveitamento didático e um aprendizado significativo por parte do aluno. Nossa proposta pedagógica relatada neste trabalho consistiu de uma sequência didática com quatro passos: Pré-teste, Aplicação do banco óptico, Debates e Pós-teste.

### 2.1 Primeiro passo: Pré-teste

O pré-teste dará ao professor um feedback da bagagem que o aluno traz sobre o conteúdo de cada item do banco, ou seja, ele terá um documento do panorama das concepções sobre a matéria, podendo utilizar as respostas para direcionar a explicação, visando corrigir erros conceituais da maioria dos alunos acerca de cada item do banco óptico.

Segue o questionário aplicado no primeiro dia de aula, para avaliar os conhecimentos prévios dos alunos acerca da Óptica.

1) Você tem interesse por fenômenos ligados à luz?

a) Tenho pouco interesse.

b) Acho interessante, porém não conheço muito.

c) Acho muito interessante, mas desconheço os fenômenos.

d) Tenho muito interesse e conheço alguns fenômenos ligados à propagação da luz.

2) O que você espera estudar sobre o conteúdo de óptica geométrica?

a) Apenas cálculo

b) Apenas teoria

c) Cálculo e teoria equiparados

d) Muitos cálculos e pouca teoria.

3) Quais dos fenômenos abaixo você acredita que pode ser explicado pela óptica?

- a) Funcionamento do motor de um carro.
- b) Formação de um arco íris.
- c) Derretimento de um bloco de gelo.
- d) Descarga elétrica durante uma tempestade.

4) Na sua opinião, como se apresentaria a imagem da letra "F" diante de um espelho?

- a) 
- b) 
- c) 
- d) 

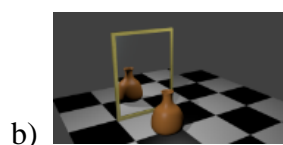
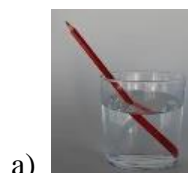
5) Você conhece quantos tipos de espelhos?

- a) 1
- b) 2
- c) 3
- d) 4

6) Se separarmos a luz branca, quantas cores podem ser observadas?

- a) 1
- b) 4
- c) 5
- d) 7

7) Na sua opinião, qual das imagens a seguir está diretamente relacionada com o estudo da óptica geométrica?





c)



d)

8) Qual desses objetos (ou fenômenos) você não espera encontrar ao longo dos estudos de óptica geométrica?

- a) Espelho      b) Lente      c) Miragem      d) Máquina térmica

9) Na sua opinião, como você gostaria que fossem as aulas de Física?

- a) Só aplicação de fórmulas.  
 b) Apenas estudo teórico.  
 c) Aulas teóricas, aplicação de fórmulas e experimentos lúdicos em sala de aula.  
 d) Estudo teórico e utilização de experimentos lúdicos em sala de aula.

## 2.2 Segundo passo: Aplicação do banco óptico

Para a aplicação do banco Óptico, foram construídos 5 kits e cada kit pode ser usado por 6 alunos durante a prática, totalizando 30 alunos durante a abordagem pedagógica. Essa quantidade de alunos foi pensada para que cada aluno ao longo da aula pudesse manusear 1 item do banco óptico ao mesmo tempo, evitando que o estudante ficasse disperso ao longo da prática. No dia da prática, o professor foi solicitando aos alunos que executassem determinados procedimentos com cada item do banco óptico e anotassem os resultados para o momento do debate, ou seja, a aplicação do banco óptico não ficou solta e desordenada. Os alunos precisavam seguir alguns comandos do docente. Ao final, os alunos dispunham de uma espécie de relatório com todas as anotações percebidas inerentes da prática.



## Câmara escura

Antes de dividir a sala em grupos, o professor poderá falar um pouco do funcionamento de uma câmera fotográfica (Figura 7) e do funcionamento de um globo ocular. Nesse caso, o docente pode explicar como a imagem real é gerada e as suas características. Isso fará com que o aluno fique mais curioso para manusear a câmara escura de orifício e compreender o seu funcionamento.

Antes do início da prática, é importante que o professor oriente os alunos para não brincarem com o fósforo, que será usado para acender a vela, objeto luminoso a ser observado, pois isso pode causar um acidente. Ao entregar a câmara ao grupo, é interessante que o professor solicite aos alunos que façam alguns procedimentos com a câmara escura (Figura 8):

Figura 7 - Câmara escura de orifício.



Fonte: Autoria própria (2020)

- Acender a vela e deixá-la fixa na carteira desocupada de algum aluno;
- Apagar a luz da sala de aula;
- Direcionar o orifício da câmara para a chama da vela;

- Observar a imagem formada no papel vegetal;
- Direcionar o orifício da câmara para a chama da vela e regular o seu comprimento, observando o que ocorrerá com o comportamento da imagem formada.

Por fim, é interessante que cada equipe responda o questionário a seguir, para constatar se os objetivos da prática foram alcançados ou não.

**Questionário:**

- a) Quais as características da imagem da chama?
- b) Qual a disposição da imagem projetada em relação à chama?
- c) Compare o tamanho da imagem projetada com o tamanho do objeto chama?
- d) O que ocorreu com a imagem da chama após a profundidade da câmara ter sido aumentada?
- e) O que ocorreu com a imagem da chama após a profundidade da câmara ter sido diminuída?

Figura 8 - Utilização da câmara escura de orifício.



Fonte: Autoria própria (2020).

## Espectrômetro

Antes de dividir a sala em grupos, o professor poderá falar um pouco do espectro de ondas eletromagnéticas, destacando-se a luz visível. Para prender a atenção do aluno, o professor pode falar um pouco de cada uma das ondas eletromagnéticas: infravermelho, ondas de rádio, micro-ondas, ultravioleta, raios-x e da radiação gama, citando um exemplo da aplicação de cada uma. Quando ele fizer a abordagem da faixa visível do espectro, o professor poderá falar um pouco da dispersão da luz branca, destacando o arco-íris, podendo citar o comportamento da frequência e do comprimento de onda, destacando a cor com maior frequência e com o maior comprimento de onda, bem como a relação entre essas grandezas.

Ao entregar o espectrômetro (Figura 9) para o grupo, é interessante que o professor instrua os alunos sobre o funcionamento dele, incentivando os alunos a procurarem com o espectrômetro (Figura 10) a dispersão da luz, ou seja, procurarem na sala de aula o arco-íris.

Figura 9 - Espectrômetro.



Fonte: A autoria própria (2020).

**Questionário:**

- a) Você conseguiu visualizar a dispersão da luz utilizando o espectrômetro?
- b) Qual é a sequência das cores vistas através do espectrômetro?

Figura 10 - Utilização do espectrômetro.



Fonte: Autoria própria (2020).

**Disco de Newton**

Como o professor já fez uma explanação sobre a dispersão da luz branca, ele poderá mostrar para o aluno o efeito contrário da dispersão (Figura 11), ou seja, mostrar que ao misturar todas as luzes do espectro visível surgirá a luz branca.

Figura 11 - Utilização do disco de Newton.



Fonte: Autoria própria (2020).

## **Lentes**

Antes da utilização do experimento de lentes (Figura 12), o professor deve fazer uma breve abordagem teórica, explicando as características das lentes esféricas convergentes e divergentes, bem como a disposição dos raios solares ao atravessar cada uma das lentes. É interessante que o professor comente a aplicação das lentes nos instrumentos ópticos de observação, tais como, lupa, luneta, telescópio, microscópio e de projeção, como, por exemplo, a câmera fotográfica e o projetor de slides. O professor também poderá explanar sobre o modelo do olho humano e a utilização das lentes na correção dos defeitos de visão, destacando-se a miopia, hipermetropia e o astigmatismo, mostrando qual o tipo de lente que corrige cada ametropia.



Ao entregar as lentes ao grupo (Figura 13), é interessante que o professor peça aos alunos que sigam os procedimentos:

- Observar a imagem de uma borracha escolar usando uma lente divergente, fazendo-se os movimentos de aproximação e afastamento.
- Observar a imagem de uma borracha escolar usando uma lente convergente, fazendo-se os movimentos de aproximação e afastamento.
- Fazer a associação das lentes convergentes e observar a imagem da borracha.
- Fazer a associação de uma lente convergente e outra divergente e observar a imagem da borracha.
- Fazer a justaposição das lentes convergentes e observar a imagem da borracha.
- Fazer a justaposição de uma lente convergente e outra divergente e observar a imagem da borracha.

Figura 12 - Lentes esféricas.



Fonte: Aatoria própria (2020).

### Questionário

- a) Quais as características da imagem da borracha escolar usando uma lente divergente? Houve mudança nas características fazendo-se os movimentos de aproximação e afastamento?
- b) Quais as características da imagem da borracha escolar usando uma lente convergente? Houve mudança nas características fazendo-se os movimentos de aproximação e afastamento?
- c) Quais as características da imagem da borracha na associação de lentes convergentes?
- d) Quais as características da imagem da borracha na associação de uma lente convergente e uma lente divergente?
- e) Quais as características da imagem da borracha na justaposição das lentes convergentes?
- f) Quais as características da imagem da borracha na justaposição de uma lente convergente com outra divergente?

Figura 13 - Utilização de uma lente esférica.



Fonte: Autoria própria (2020).

### Películas polarizadoras

Antes de iniciar a prática, é interessante o professor fazer um breve apanhado sobre o fenômeno de polarização luminosa, destacando-se que ela só pode ocorrer com ondas transversais, logo, não podendo ocorrer com ondas sonoras. Vale a pena o docente ressaltar onde a polarização da luz é utilizada em nosso cotidiano, como, por exemplo, óculos de sol, lentes de câmera fotográfica, cinema 3D e monitor de computador.

Ao entregar as películas para cada equipe (Figura 14), é importante o professor orientar sobre os procedimentos a serem feitos:

- Direcionar a primeira película contra a fonte de luz.
- Direcionar a segunda película contra a fonte de luz.
- Direcionar as duas películas sobrepostas contra a fonte de luz.
- Com as películas ainda sobrepostas, rotacionar uma em relação a outra contra a fonte de luz.

Figura 14 - Utilização das películas polarizadoras.



Fonte: Autoria própria (2020).



## Questionário

- a) Você conseguiu observar a passagem de luz ao direcionar a primeira película contra a fonte de luz?
- b) Você conseguiu observar a passagem de luz ao direcionar a segunda película contra a fonte de luz?
- c) Você conseguiu observar a passagem da luz ao direcionar as duas películas sobrepostas contra a fonte de luz?
- d) O que ocorreu com a passagem da luz com as películas ainda sobrepostas ao rotacionar uma em relação a outra contra a fonte de luz?

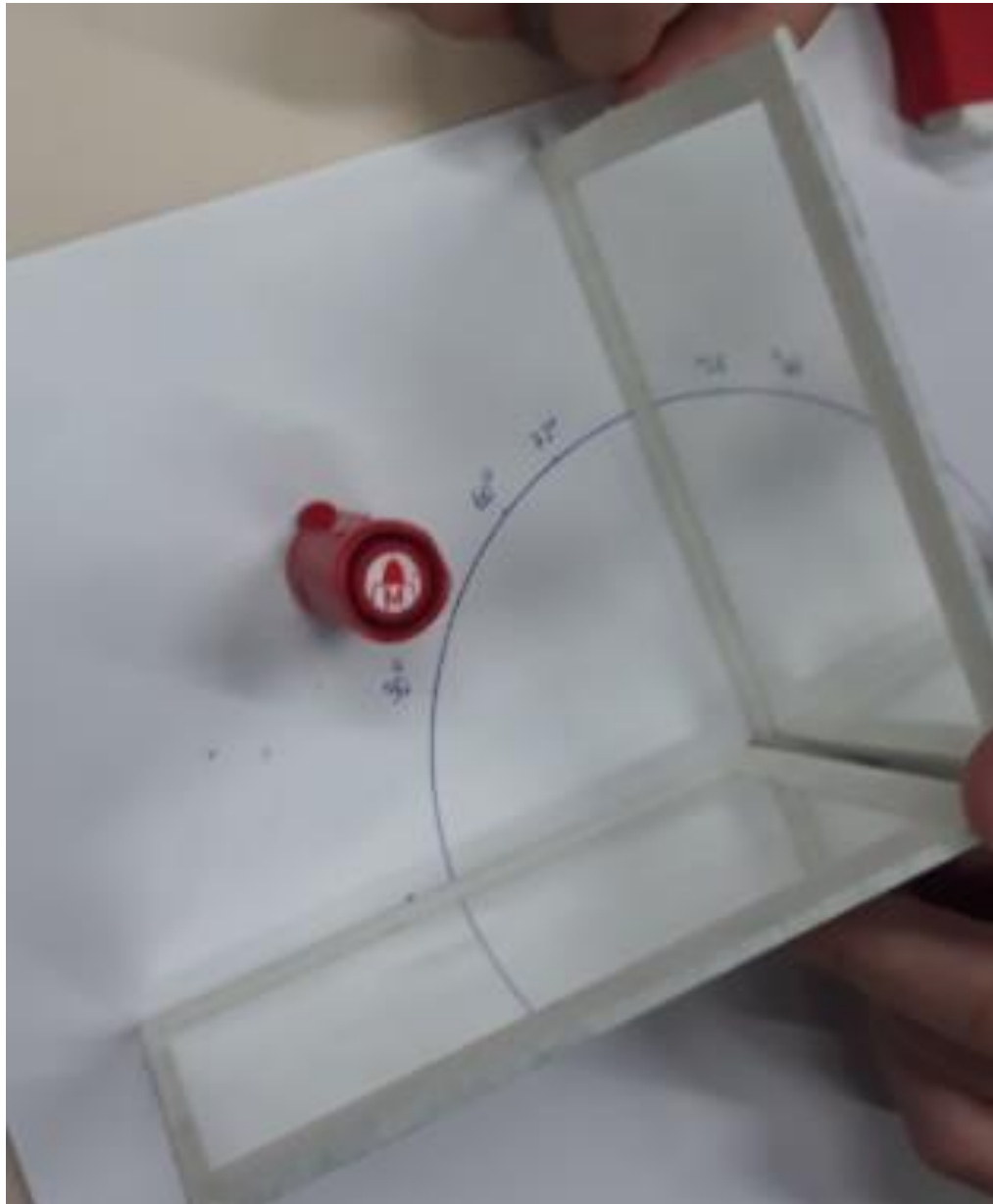
## Associação de espelhos planos

Antes de entregar os espelhos para as equipes, é interessante que o professor faça uma breve explanação sobre a associação de espelhos planos (Figura 15), destacando que ela pode ser utilizada nas cenas de danças em peças teatrais e casa de espelhos.

Ao entregar os espelhos (Figura 16) e a folha com a marcação dos ângulos, é interessante que o professor oriente os alunos sobre os procedimentos:

- Coloque os espelhos formando um ângulo de  $180^\circ$  e verifique a quantidade de imagens que apareceu do objeto.
- Coloque os espelhos formando um ângulo de  $90^\circ$  e verifique a quantidade de imagens que apareceu do objeto.
- Coloque os espelhos formando um ângulo de  $72^\circ$  e verifique a quantidade de imagens que apareceu do objeto.
- Coloque os espelhos formando um ângulo de  $60^\circ$  e verifique a quantidade de imagens que apareceu do objeto.
- Coloque os espelhos formando um ângulo de  $45^\circ$  e verifique a quantidade de imagens que apareceu do objeto.
- Coloque os espelhos formando um ângulo de  $30^\circ$  e verifique a quantidade de imagens que apareceu do objeto.

Figura 15 - Associação de espelhos planos.



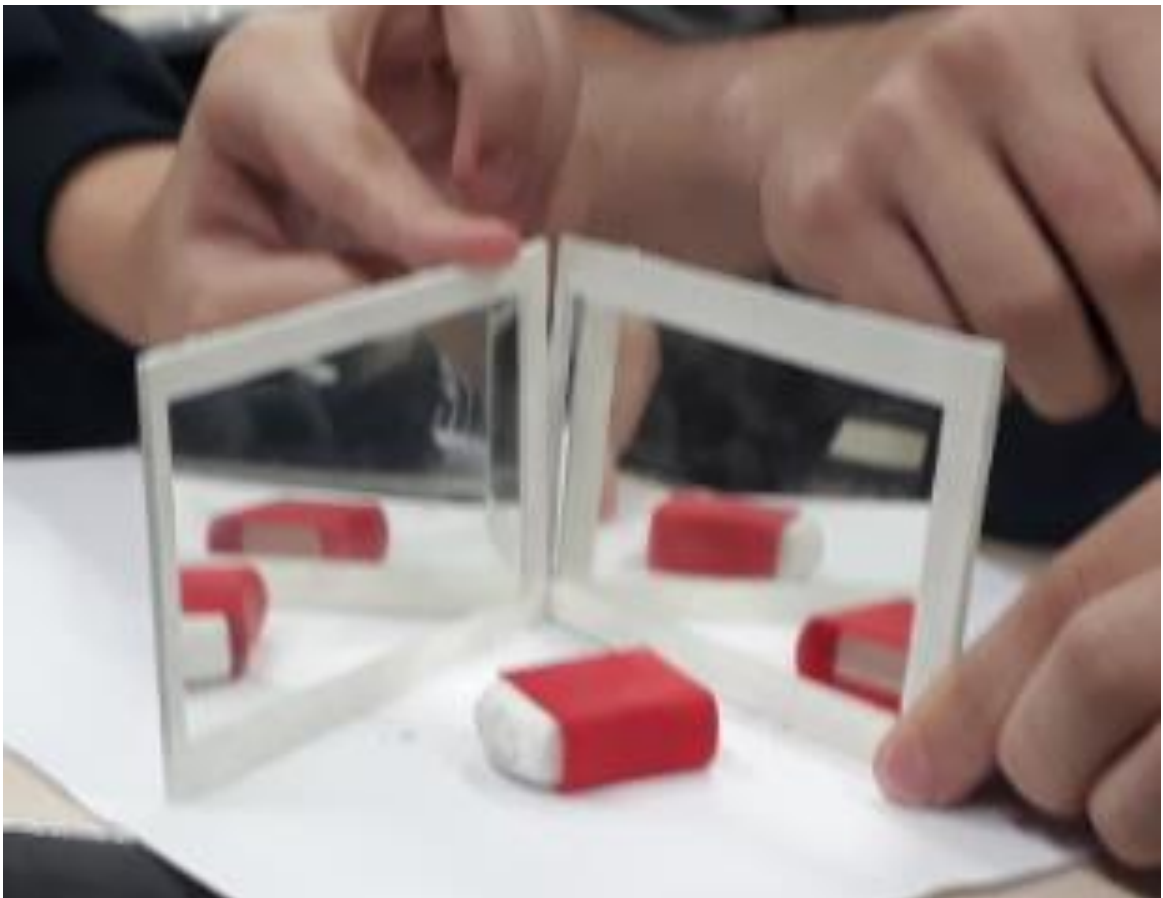
Fonte: Autoria própria (2020).

### Questionário

- a) Quantas imagens do objeto surgiram quando o ângulo entre os espelhos associados foi de  $180^\circ$ ?
- b) Quantas imagens do objeto surgiram quando o ângulo entre os espelhos associados foi de  $90^\circ$ ?

- c) Quantas imagens do objeto surgiram quando o ângulo entre os espelhos associados foi de  $72^\circ$ ?
- d) Quantas imagens do objeto surgiram quando o ângulo entre os espelhos associados foi de  $60^\circ$ ?
- e) Quantas imagens do objeto surgiram quando o ângulo entre os espelhos associados foi de  $45^\circ$ ?
- f) Quantas imagens do objeto surgiram quando o ângulo entre os espelhos associados foi de  $30^\circ$ ?
- g) Qual é a conclusão que pode ser retirada sobre o valor do ângulo e a quantidade de imagens formadas?
- h) Você consegue conjecturar uma fórmula para o cálculo do número de imagens?

Figura 16 - Formação das imagens múltiplas nos espelhos associados.



Fonte: Autoria própria (2020).

### 2.3 Terceiro passo: Debates

Nessa fase, com toda a explanação feita pelo professor, bem como com o aprendizado adquirido do manuseio do experimento, acredita-se que o aluno já tenha algum conhecimento mais embasado sobre a matéria. Isso deixará o debate mais rico, proporcionando um aprendizado de todos aqueles que estão assistindo e participando do debate.

O professor pode orientar que um componente de cada equipe leia as respostas da sua equipe e tente defender o motivo que levou as concepções de suas respostas. A comparação com as respostas das outras equipes é importante, para chegar a uma resposta correta, embasada nos princípios físicos. As respostas equivocadas devem ser corrigidas, sempre de forma serena, para não desmotivar os alunos para a participação dos futuros debates. Ao final de cada tópico do debate o professor deverá fazer uma breve explanação do que ocorre de fato, sempre parabenizando a resposta final e o empenho de todos aqueles que participaram do debate. Isso fará com que os alunos interajam cada vez mais, exponham suas opiniões e tentem defender os seus pontos de vista.

Uma sugestão, caso o professor disponha de tempo, o docente pode propor aos alunos que façam um mapa conceitual individual ou da equipe, para que ele possa ter evidência do que eles aprenderam e as lacunas que não foram contempladas com a prática.

### 2.4 Quarto passo: Pós-teste

O professor fará uma avaliação somativa, um pós-teste, individual, sem pontuação, para avaliar a retenção do conteúdo estudado na aplicação do banco óptico. Este pós-teste tem objetivo de mensurar a eficácia do produto educacional.

1) Qual é o nome do fenômeno que ocorre com a luz solar para a formação de um arco-íris?

- a) Dispersão
- b) Colimação
- c) Difração
- d) Interferência

2) Marque uma opção com a aplicação correta de um espelho esférico convexo?

- a) Espelho usado pelo dentista.

- b) Espelho do banheiro de casa  
 c) Espelho usado em portarias de edifício  
 d) Espelho de maquiagem
- 3) Qual dos fenômenos a seguir explica o funcionamento de uma lente?

- a) Refração  
 b) Dispersão  
 c) Reflexão  
 d) Polarização

4) Em qual dos itens a seguir a polarização não está presente?

- a) Lentes de óculos escuros  
 b) Lentes de óculos 3D  
 c) Tela de notebook (monitor).  
 d) Fases da lua

5) O que você achou do jogo **Banco óptico** como ferramenta de aprendizagem de Óptica Geométrica?



- a) Interessante. Observei conceitos que desconhecia, ou interpretava de maneira equivocada.  
 b) Desinteressante. Não vejo relação dos itens do banco óptico com o conteúdo de Óptica Geométrica  
 c) Ótimo como divertimento, porém não consegui observar conceitos de Óptica Geométrica nos itens do banco.  
 d) Não me interesse aulas práticas.

6) Qual item do banco óptico você achou mais interessante?



A relação a seguir, refere-se aos itens do banco ópticos destacadas na figura acima da esquerda para a direita.

- a) Disco de Newton
- b) Espectrômetro
- c) Câmara escura de orifício
- d) Associação de espelhos planos.
- e) Películas polarizadas
- f) Lentes

Por favor, deixe algum comentário, sugestão ou crítica sobre a aula prática que tivemos no primeiro dia de aula do ano.

### 3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta proposta pedagógica é constituída de uma sequência didática com quatro passos: Pré-teste, Aplicação do banco óptico, Debates e Pós-teste.

Para o desenvolvimento dessa proposta pedagógica foram construídos 5 kits com 5 itens cada kit, proporcionando uma interação simultânea de 25 alunos de uma turma, durante a abordagem pedagógica. Essa quantidade de 5 kits foi pensada para que todos os alunos pudessem manusear 1 item do banco óptico ao mesmo tempo, evitando que o estudante ficasse disperso ao longo da prática.

Vale à pena ressaltar que essa proposta pedagógica não é única, nem a melhor; foi a que escolhemos e utilizamos, dentro da realidade das turmas que leciono. O docente pode, a partir de sua experiência docente, desenvolver a sua própria proposta pedagógica utilizando o kit de experimentos aqui descrito e, como a proposta não é única, ele poderá incluir mais itens, deixando o banco óptico mais rico. Uma abordagem que o professor poderá fazer, por exemplo, ele pode levar os experimentos quase prontos para a sala de aula, para que os alunos façam a montagem. Nesse caso, o professor fará uma abordagem diferente da nossa. Ele necessitará de mais tempo para que os alunos montem e utilizem os experimentos. Assim, a abordagem pedagógica envolverá também a montagem dos experimentos, ou seja, mão na massa. Mas, nesse caso, o resultado poderá também ser diferente do que foi alcançado

Quanto às avaliações pedagógicas da escola, não foram modificadas em decorrência do presente trabalho, ou seja, o método avaliativo utilizado pela escola não foi alterado pelo uso dos experimentos. Nosso intuito em utilizar os kits experimentais foi apenas de tornar nossas aulas mais atraentes e lúdicas para os estudantes.