



## **PRODUTO EDUCACIONAL - Material Didático-Pedagógico**

### **UMA ABORDAGEM EXPERIMENTAL COM MATERIAIS DE BAIXO CUSTO NO ENSINO DA ÓPTICA GEOMÉTRICA**

Pedro Paulo de Brito

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

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Hercília Alves Pereira de Carvalho

Maringá - PR  
Setembro/2019

## **Apresentação**

O presente Produto Educacional (PE) fundamenta-se em uma proposta para a aplicação de atividades experimentais de óptica geométrica em sala de aula. O diferencial está na seleção de experimentos cujos aparatos experimentais são construídos com materiais simples e de baixo custo. Contornando assim, a questão da falta de aparatos experimentais bem como de espaço físico, proporcionando um incentivo à docência em buscar alternativas e sair da zona de conforto em somente ministrar aulas teóricas.

O interessante desta proposta é que ao realizar a pesquisa para fazer um levantamento, observa-se que há na literatura e disponíveis na internet uma gama de experimentos, e o adequado é selecionar àqueles próximos a realidade dos alunos.

No caso deste PE, cujo público alvo foi estudantes tanto da área rural, quanto da área urbana, optou-se por buscar experimentos que envolva o conteúdo da óptica geométrica que auxiliasse a explicar efeitos da natureza e próximos ao cotidiano deles, como: Arco-íris, céu azul, como se vê um objeto que não emite luz, como entender a formação de imagens em um espelho plano, como funciona uma lente de aumento, o papel das lentes corretivas de visão, entre outros. Podendo assim, ser utilizado para todos os tipos de público alvo.

Nessa proposta espera-se que o estudante possa:

- Expor seus conhecimentos, relatando o que ele já sabe sobre o assunto;
- Observar o experimento, manipular e tirar conclusões dos fenômenos físicos observados;
- Saber reproduzir os mesmos conceitos físicos de diferentes formas utilizando outros experimentos;
- Ter autonomia, para investigar e produzir os próprios materiais de pesquisas.

E, em relação ao papel do professor que ele busque formas para demonstrar e investigar o conhecimento de óptica geométrica por meio de diversos experimentos confeccionados e manipulados pelos próprios estudantes. Além disso, conduzir o educando como sujeito ativo da sua própria aprendizagem, todo momento é estimulado a procurar novas informações para cada vez mais elevar seu nível de conhecimento, relacionando a sua vivência com o conhecimento científico.

Desta forma, espera-se que o presente Produto Educacional venha a contribuir para uma aprendizagem significativa no estudo da óptica geométrica, a fim de que o estudante compreenda as informações científicas sobre a dispersão e decomposição da luz, assim como

seu comportamento ao transpor diferentes meios (fenômeno da refração), compreenda os efeitos de reflexão, perceba o comportamento da luz ao incidir em espelhos planos e esféricos, compreenda seu comportamento em lentes esféricas, e também o funcionamento do olho humano com os problemas que dificultam a visão e as possíveis correções por meio de lentes.

A metodologia aqui adotada possui de 3 a 4 etapas, em que inicialmente, o professor apresenta os materiais experimentais já prontos sobre a mesa e solicita aos estudantes relatem o que imaginam ser aqueles materiais e respondam um questionário organizador do raciocínio (2 a 3 questões). Posteriormente, o estudante tem um momento para observar e manipular cada material experimental apresentado, discutir em grupos de no máximo cinco estudantes e responder um conjunto de questões organizadoras a observação. Na terceira etapa conduzindo para a conclusão, os alunos respondem algumas questões em que podem se auxiliar em pesquisa seja no livro didático e/ou via *internet*. Para finalizar, é proposto que o estudante desenvolva algum experimento que tenha o mesmo princípio e explique o fenômeno estudado.

Como avaliação, sugere-se um pré-teste antes de aplicar a metodologia acima descrita e um pós-teste após a mesma.

Deixo assim esta contribuição para o processo ensino-aprendizagem, e agradeço a todos os autores e criadores dos experimentos sugeridos e adaptados neste trabalho.

Este material estará disponível para download na página do MNPEF/DFI/UEM (<http://www.dfi.uem.br/dfimestrado/?q=node/60>) e pode ser adaptado de acordo com a realidade de cada série pelo docente interessado.

Maringá, setembro de 2019.

Pedro Paulo de Brito

## Sumário

<b>Apresentação.....</b>	<b>i</b>
<b>Introdução.....</b>	<b>1</b>
<b>1- Roteiros Experimentais .....</b>	<b>3</b>
<b>1.1.1 – Roteiro do Experimento 1a - Prisma Óptico.....</b>	<b>3</b>
<b>1.1.2 – Roteiro do Experimento 1b – Disco de Newton .....</b>	<b>6</b>
<b>1.2 – Roteiro do Experimento 02 – Reflexão da luz – Pente Reflexivo .....</b>	<b>9</b>
<b>1.3 – Roteiro do Experimento 03 – Desvio do Raio de Luz.....</b>	<b>11</b>
<b>1.4 – Roteiro do Experimento 04 – Associação de Espelhos Planos.....</b>	<b>13</b>
<b>1.5 – Roteiro do Experimento 05 – Superfícies Refletoras Esféricas.....</b>	<b>15</b>
<b>1.6 – Roteiro do Experimento 06 – Lentes de Aumento.....</b>	<b>18</b>
<b>1.7 – Roteiro do Experimento 07 – Protótipo do Olho Humano.....</b>	<b>22</b>
<b>2 – Aplicação do Produto Educacional .....</b>	<b>25</b>
<b>2.1 – Plano Geral de Aula .....</b>	<b>27</b>
<b>2.2 – Encaminhamento Metodológico.....</b>	<b>28</b>
<b>2.2.1 – Aula 01 – Conhecimentos Prévios .....</b>	<b>28</b>
<b>2.2.2 – Aula 02 – Princípios da Óptica Geométrica: cores e luz, decomposição e recomposição espectro da luz visível .....</b>	<b>32</b>
<b>2.2.3 – Aula 03 – Reflexão da Luz .....</b>	<b>36</b>
<b>2.2.4 – Aula 04 – Refração da Luz .....</b>	<b>39</b>
<b>2.2.5 – Aula 05 – Espelhos Planos .....</b>	<b>43</b>
<b>2.2.6 – Aula 06 – Espelhos Esféricos .....</b>	<b>48</b>
<b>2.2.7 – Aula 07 – Lentes Esféricas .....</b>	<b>52</b>
<b>2.2.8 – Aula 08 – Olho Humano e as Anomalias da Visão .....</b>	<b>56</b>
<b>2.2.9 – Aula 09 – Questionário Avaliativo – PÓS-TESTE .....</b>	<b>60</b>
<b>Considerações Finais .....</b>	<b>63</b>
<b>Referências Bibliográficas .....</b>	<b>64</b>
<b>Apêndice A – Texto de Apoio – Óptica Geométrica .....</b>	<b>65</b>

# Introdução

A Óptica é o ramo da Física dedicado ao estudo das leis que regem o estudo da luz e os fenômenos luminosos. A palavra óptica vem do grego *optiké* e significa “relativo à visão”. Ela é dividida em Óptica Física (OF) e Geométrica (OG). A primeira estuda o comportamento ondulatório da luz (difração) e a segunda, assunto do presente PE, estuda o comportamento dos raios de luz (reflexão e refração).

O primeiro instrumento óptico que alavancou esse estudo foi a invenção do telescópio, em 1609, por Galileu Galilei. Enquanto que, James Clerk Maxwell, mostrou em 1864 que um raio luminoso é a propagação no espaço de campos elétricos e magnéticos, nesta visão a luz é uma onda eletromagnética.

Portanto, estamos imersos em ondas eletromagnéticas, cuja principal fonte é o Sol. O espectro eletromagnético, em relação ao comprimento de onda, varia de  $10^8$  m a  $10^{-16}$  m. Sendo que a região compreendida entre  $430\text{ nm}$  a  $690\text{ nm}$  é a parte do espectro a qual o olho é sensível, esta é a faixa de nosso interesse, a luz visível. Independente da faixa espectral a velocidade da luz no vácuo ( $c$ ) é aproximadamente de  $3 \times 10^8$  m/s.

Para que possamos visualizar os objetos é necessário que raios luminosos refletidos dos objetos cheguem à retina, de forma que os bastonetes e cones detectam a luz e por meio do nervo óptico as informações chegam ao cérebro. Esta e outras formações de imagens podem ser compreendidas pelo estudo da Óptica Geométrica (OG) que parte da hipótese de que a luz se propaga em linha reta.

Este e outros comportamentos da luz é o conteúdo abordado neste PE por meio de roteiros experimentais de experimentos selecionados para esse fim.

A estrutura de trabalho está baseada na Teoria de Aprendizagem de David Ausubel (MOREIRA, 2011), que consiste de um processo que valoriza experiências anteriores escolares e pessoais do educando. Nesse processo, as informações recém adquiridas ancoram-se nas pré-existentes, o que torna o novo conhecimento permanente e não transitório. Esses conhecimentos pré-existentes determinam a aprendizagem e são denominados por Ausubel de subsunçores.

Na ausência destes, deve-se recorrer aos organizadores prévios, que são definidos por MOREIRA:

Organizador prévio é um recurso instrucional apresentado em um nível mais alto de abstração, generalidade e inclusividade em relação ao material de aprendizagem. Não é uma visão geral, um sumário ou um resumo que geralmente estão no mesmo nível de abstração do material a ser aprendido. Pode ser um enunciado, uma pergunta, uma

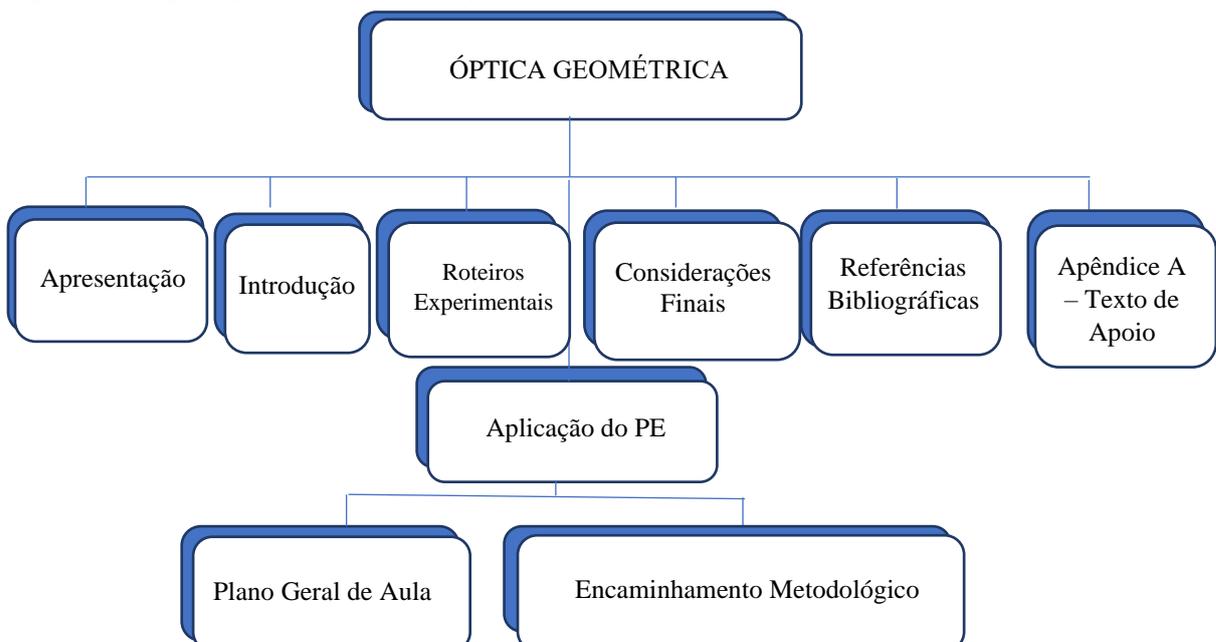
situação-problema, uma demonstração, um filme, uma leitura introdutória, uma simulação. Pode ser também uma aula que precede um conjunto de outras aulas. As possibilidades são muitas, mas a condição é que preceda a apresentação do material de aprendizagem e que seja mais abrangente mais geral e inclusivo do que este. (MOREIRA, 2012, p. 11)

Assim, quando constatado a ausência dos subsunçores, torna-se necessário providenciar a organização de conhecimentos prévios para que a nova informação faça sentido para o aluno. Para que ocorra à aprendizagem significativa é fundamental a utilização de material relacionável à estrutura cognitiva do estudante, além da determinação do mesmo em aprender (MOREIRA, 2011). Nesta perspectiva, entende-se a importância da proposição de atividades em que o aluno sinta-se incluído no processo ensino/aprendizagem.

Portanto, a partir da premissa de sujeito participativo, procuramos apresentar este PE de forma que o professor seja o intermediador que utiliza os experimentos para demonstrar e concede ao estudante a oportunidade de pesquisar e desenvolver o próprio material para representar e compreender o fenômeno estudado. Assim, o estudante apropria-se de métodos de investigação, de maneira simples e acessível, permitindo-lhe estudar e compreender o modo de fazer Ciência.

Com o propósito de uma visualização da estrutura do presente texto, apresenta-se o organograma na Figura 01.

**Figura 01:** Organograma da apresentação do Produto Educacional



**Fonte:** o autor.

# 1- Roteiros Experimentais

Neste capítulo será apresentado um roteiro para a construção dos aparatos experimentais, que serão utilizados no Capítulo 2. Este roteiro contém os materiais utilizados, descrição e montagem dos experimentos, em um total de 8 experimentos, abrangendo diferentes tópicos dentro da OG: decomposição da luz (via prisma óptico), recomposição do espectro colorido da luz (via disco de Newton), reflexão da luz (via: pente, luz e espelho plano), refração da luz (via cuba transparente, água e fonte de luz), espelhos planos (por meio da combinação de espelhos planos), Espelhos esféricos (por meio de superfícies refletoras esféricas), lentes esféricas (via lente de garrafa *pet* e água) e anomalias na formação de imagem no olho (por meio de um protótipo de olho).

Inicia-se com os experimentos relacionados à decomposição e recomposição do espectro da luz visível. Posteriormente relacionados à sua propriedade de reflexão (espelhos planos e esféricos) e refração, lentes e por último a aplicação das lentes no olho humano, relacionado à visão e anomalias (lentes corretivas).

## **1.1.1 – Roteiro do Experimento 1a - Prisma Óptico<sup>1</sup>**

A escolha de iniciar por este experimento foi para direcionar a compreensão sobre fenômenos relacionados à refração, por meio da decomposição de luz. Explorando primeiramente os conceitos de uma onda (a eletromagnética) e sua velocidade de propagação alterada ao passar de um meio a outro.

### **1.1.1.1 – Objetivos**

- Confecção de um prisma óptico a partir de placas retangulares de vidro e água.
- Representar o fenômeno da dispersão da luz.

### **1.1.1.2 – Materiais Utilizados**

- 3 placas de vidro com as seguintes dimensões (8 x 20) cm.
- 1 placa de vidro triangular 10 cm cada lado.
- 1 bisnaga (50 g) de silicone.
- Água suficiente para encher o prisma.

---

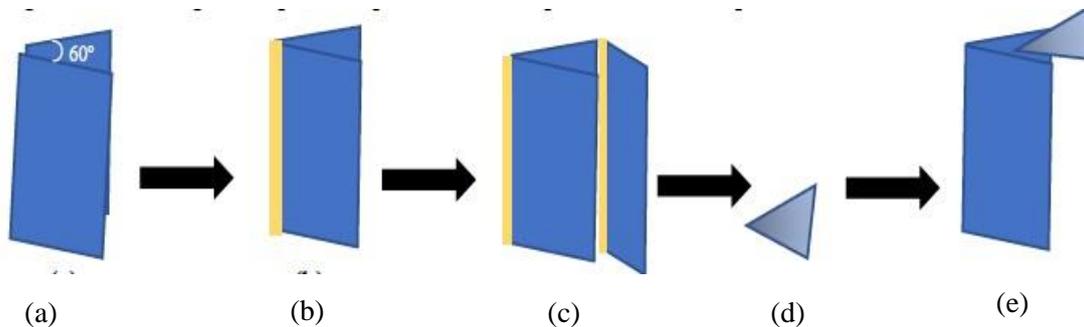
<sup>1</sup> Proposto por Newton em 1666.

- 1 transferidor.
- 1 caneta *laser*.

### 1.1.1.3 – Montagem do Aparato Experimental

- Junte duas placas de vidro (Figura 1.1 (a)) de modo que faça entre elas um ângulo de  $60^\circ$ ,  
formando um triângulo equilátero (ângulos congruentes).
- Passe o silicone na junção entre elas (Figura 1.1 (b)).
- Junte a terceira placa de modo a fechar o sólido formando um triângulo, colando-a com o silicone (Figura 1.1 (c)).
- Cole a base (placa triangular), Figura 1.1 (d), do prisma também com a cola de silicone (Figura 1.1 (e)).
- Espere a cola secar

**Figura 1.1** – Figura ilustrativa apresentando as etapas da montagem experimental do prisma: (a) posicionando três lâminas em um ângulo de  $60^\circ$  entre elas, formando um triângulo equilátero; (b) colando as placas, (c) colando a terceira face do prisma, (d) placa triangular de plástico, e (e) colando a base e fechando o prisma.



Fonte: o autor

Na Figura 1.2 está uma foto do prisma pronto.

**Figura 1.2** – Imagem fotográfica do prisma pronto. Parte externa feita com placas de vidro e dentro água

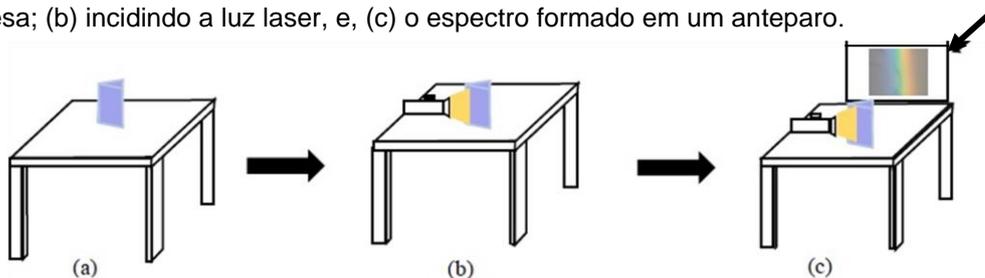


**Fonte:** o autor

#### 1.1.1.4 – Procedimento Experimental

- Coloque água até quase atingir a sua borda (Figura 1.2).
- Posicione o prisma sobre uma superfície plana (mesa) (Figura 1.3 (a)).
- Incida um feixe de luz com uma lanterna em um dos lados do prisma (Figura 1.3 (b)).
- Descreva o que observou com o feixe de luz após atravessar o prisma e atingir o anteparo (Figura 1.3 (c)).
- Relacione com a teoria estudada, justificando o efeito observado.

**Figura 1.3** – Desenho ilustrando as etapas da execução experimental. (a) prisma com a água sobre a mesa; (b) incidindo a luz laser, e, (c) o espectro formado em um anteparo.



**Fonte:** o autor

#### 1.1.1.5 – Resultados Esperados

Ao incidir a luz em um ângulo diferente de zero, observa-se a decomposição (dispersão) da luz branca (Figura 1.4).

Este é o efeito que visualizamos em um espectroscópio<sup>2</sup> para a luz natural, ou de lâmpadas, sem que seja necessário incidir um feixe de luz diretamente.

**Figura 1.4** – Imagem fotográfica de um espectro de luz branca decomposta.



**Fonte:** arquivos do autor cedido ao mesmo por um aluno.

### **1.1.1.6 – Explicações**

Este aparato permite que o educando visualize a decomposição da luz. Compreenda que a luz é uma fração visível de uma onda eletromagnética, e que um raio de luz é composto por diferentes frequências desta onda, e passivo de se decompor. Sua decomposição é possível fazendo com que este feixe de luz ultrapasse dois diferentes meios de propagação, neste caso, o ar, a água e o ar. Com isso a explicação referente a características de um raio de luz despertou novas curiosidades possibilitando uma nova percepção dos fenômenos naturais como um Arco-íris (Figura A.23, e explicações nos exemplos da subseção A.3.2 do texto de apoio apresentado no Apêndice A).

## **1.1.2 – Roteiro do Experimento 1b – Disco de Newton**

Com o propósito da união do espectro colorido da luz retornando a cor branca. A sugestão é que os alunos construam um dispositivo capaz de representar a junção do espectro colorido, transformando-o numa cor única, branca, assim como percebemos a cor da luz visível. Neste caso sugere-se a construção de um Disco de Newton com os materiais que tenham disponíveis e o uso de sua criatividade.

### **1.1.2.1 – Objetivos**

- Confeccionar um disco de Newton.
- Obter a cor da luz visível.

---

<sup>2</sup> Um exemplo é o elaborado e divulgado pela SBF em 2015, disponível no site: <<https://www.youtube.com/watch?v=RNNbrXI5iys>>.

- Representar a união do espectro colorido.

### 1.1.2.2 – Materiais Utilizados

- 1 garrafa *pet* transparente de 2 L.
- ½ folha sulfite.
- Lápis de cor ou tinta nas cores: vermelho, amarelo, anil, azul, verde, alaranjado e violeta, se utilizar tinta diretamente no plástico da garrafa fazer uma base com tinta branca fosca.
- 1 fita adesiva.
- 1 prego 17x21 dimensões: (2,7 x 41,46)mm para fixar em uma madeira, caso não consiga segurar;
- Tesoura.
- Régua.
- Compasso.
- Lápis.

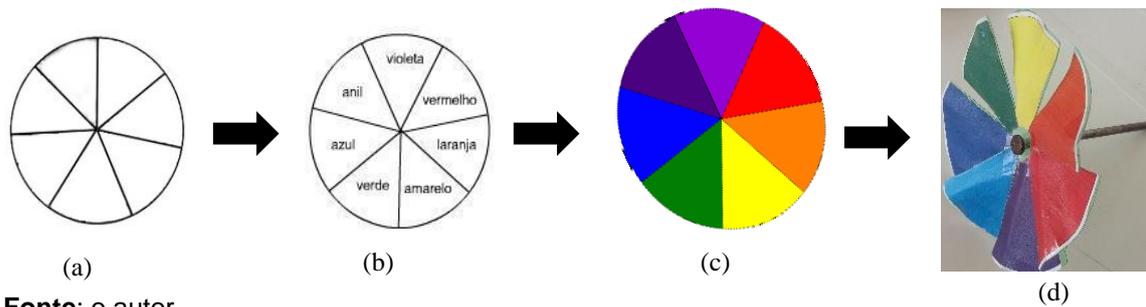
### 1.1.2.3 – Montagem do Aparato Experimental

- Faça um círculo na folha sulfite utilizando o compasso, diâmetro de 12 a 14 cm - Divida-o, marcando com o auxílio de um lápis, em sete partes iguais (Figura 1.5 (a)).
- Pinte cada parte com um uma cor diferente na seguinte sequência: vermelha, alaranjada, amarela, verde, azul, anil e violeta (Figura 1.5 (b)).
- Corte a garrafa *pet* de modo a aproveitar o corpo central tal modo que possa abrir e ter um retângulo.
- Neste retângulo, corte um disco de mesmo tamanho do disco colorido (Figura 1.5 (c)) para servir de base.
- Prenda o disco colorido na base com fita adesiva.
- Recorte o disco dividindo suas cores.
- Separe as raias de cores, torcendo cada uma, se necessário aqueça levemente perto do furo, o aspecto é o da Figura 1.5 (d).
- Faça um furo no centro, , passe o prego por este furo, de modo que permita segurá-lo, e de forma que o disco gire livremente ao dar impulso com a outra mão no mesmo, ou deixar girar como um cata-vento (apare as rebarbas em volta do furo se necessário) (Figura 1.5 (d)).

### 1.1.2.4 – Procedimento Experimental

- Segure na extremidade livre do prego.
- Impulsione com uma das mãos o disco, colocando-o a girar.
- Anote o que observou.
- Relacione com a teoria estudada, justificando o efeito observado.

**Figura 1.5:** Descrição das etapas da montagem do disco de Newton.



**Fonte:** o autor.

### 1.1.2.5 – Resultado Esperado

Ao girar o disco (Figura 1.6 (a) em destaque), quanto maior a velocidade mais a tonalidade do lado colorido ficará na cor branca (Figura 1.6 (b)), tornando possível visualizar a recomposição do espectro da luz visível.

**Figura 1.6** – Imagem fotográfica (a) do disco de Newton confeccionado por uma das equipes do colégio do campo Margarida Franklin – Ibaiti – PR, e (b) o disco girando mostrando a recomposição da cor branca.



**Fonte:** arquivos do autor.

### **1.1.2.6 – Explicação**

Este aparato permite a visualização de união/recomposição do espectro colorido da luz novamente em uma única cor: a branca.

Utilizado como reconstrução da decomposição da luz, o Disco de Newton foi capaz de possibilitar a percepção da agregação das diferentes frações do espectro da luz visível.

Pode-se utilizar um ventilador portátil para o aumento da sua rotação, basta colar o disco colorido com a fita adesiva no centro das hélices e ligá-lo ou direcioná-lo contra o vento produzido pelo ventilador. Tomando os devidos cuidados, pois a hélice pode causar danos físicos.

A próxima subseção trata-se de uma das propriedades da luz que é a de reflexão da luz utilizando um espelho plano e uma lanterna.

## **1.2 – Roteiro do Experimento 02 – Reflexão da luz – Pente Reflexivo<sup>3</sup>**

A fim de observar o fenômeno da reflexão da luz, este aparato simples, permite a visualização e manipulação dos reflexos da luz sobre uma superfície plana (espelho). Este experimento é denominado pente reflexivo proposto e disponível, por exemplo, no *site*: <<http://www2.fc.unesp.br/experimentosdefisica/opt03.htm>>.

### **1.2.1 – Objetivos**

- Compreender o processo de reflexão da luz.
- Observar a reflexão da luz através de sombras produzida por um pente.

### **1.2.2 – Materiais Utilizados**

- 1 espelho plano.
- 1 bloco de madeira do tamanho do espelho.
- 1 lanterna.
- 1 pente.

### **1.2.3 – Montagem Experimental**

- Cole o espelho no bloco de madeira.
- Em uma sala preferencialmente escura, posicione o espelho perpendicularmente ao

---

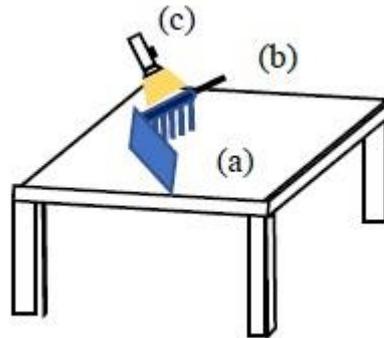
<sup>3</sup>Mudança da propagação da luz desde que incida em um ângulo diferente de zero graus em relação a superfície incidente.

plano de uma mesa (Figura 1.7 (a)).

– Segure o pente perpendicular à borda do espelho (Figura (1.7 (b))).

– Posicione a lanterna perpendicularmente à posição do pente (Figura 1.7 (c)).

**Figura 1.7** – Desenho esquemático simulando a montagem experimental do experimento de reflexão.



**Fonte:** o autor.

### 1.2.4 – Procedimento Experimental

– Aponte a lanterna para o espelho com o pente entre o espelho e a lanterna.

– Ligue a lanterna que se encontra na posição indicada na Figura 1.7 (c).

– Observe o que ocorre com o feixe de luz que parte da lanterna.

– Anote suas observações.

### 1.2.5 – Resultado Esperado

A luz ao passar pelo pente produz sombras sobre a superfície (mesa), quando atingem o espelho são rebatidas para o mesmo meio de propagação, Figura 1.8. Este fenômeno é chamado de reflexão tendo como característica o ângulo de incidência ser igual ao ângulo de reflexão.

**Figura 1.8** – Imagem fotográfica do efeito da luz passando pelo pente e refletindo no espelho.



**Fonte:** arquivos do autor.

### 1.2.6 – Explicação

Este experimento permite visualizar o fenômeno da reflexão da luz, o retorno da luz para o meio de propagação após ser desviado por um obstáculo.

Utilizando um transferidor para auxiliar nas observações, é possível verificar que o valor do ângulo de incidência é o mesmo valor do ângulo de reflexão.

A próxima sessão está ligada a propriedade de refração da luz.

## 1.3 – Roteiro do Experimento 03 – Desvio do Raio de Luz<sup>4</sup>

A proposta deste experimento<sup>5</sup> é para observar a mudança de direção da luz ao atravessar meio distintos, num sistema onde seja possível observar a trajetória da luz sendo desviada do seu curso inicial, ou seja, a mudança de direção de luz causada pelo fenômeno da refração.

### 1.3.1 – Objetivos

- Compreender o fenômeno da refração da luz.
- Analisar a propagação da luz em diferentes meios de propagação: água e ar.
- Analisar os índices de refrações da água e do ar.

### 1.3.2 – Materiais Utilizados

- 1 caixa de plástico, acrílico ou aquário de vidro, transparentes.
- 1 caneta *laser*.
- Água suficiente para encher a caixa.
- Pó de fresco para colorir a água e facilitar a visualização do feixe de luz.
- 1 colher de pau ou plástico, importante que o material ao risque a cuba.

### 1.3.3 – Montagem do Aparato Experimental

- Coloque a caixa de plástico, acrílica ou um aquário de vidro, sobre uma mesa e encha de água (Figura 1.9 (a)).
- Adicione o pó de fresco para colorir a água (Figura 1.9 (b)).
- Misture bem o pó de fresco com a água com uma colher de pau ou plástico, até que

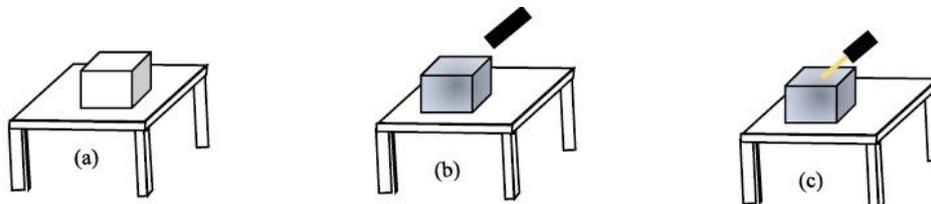
---

<sup>4</sup> Refração da luz é a mudança de direção da luz gerada pela alteração de sua velocidade. Ocorre quando a luz passa por diferentes meios de propagação com diferentes refrações.

<sup>5</sup> Refração da luz numa caixa de acrílico. Este fenômeno está representado e disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=KVCsXIVtn18>>.

fique bem homogêneo.

**Figura 1.9** – Desenho Ilustrativo do experimento de refração: (a) caixa sobre a mesa, (b) com água + suco em pó dissolvido e (c) Incidindo a luz.



**Fonte:** o autor

### 1.3.4 – Procedimento Experimental

- Posicione a caneta *laser* (Figura 1.9 (c)), a certa distância da caixa.
- Incida a luz na superfície lateral da caixa.
- Observe a trajetória da luz, dentro da caixa e fora da caixa, do lado oposto ao de incidência.

### 1.3.5 – Resultados Esperados

Ao incidir o raio de luz da caneta *laser* na caixa de plástico com água, é possível visualizar a mudança de direção do raio de luz devido à diferença do índice de refração entre o ar e a água do recipiente.

Quando incidir o raio de luz perpendicularmente ao plano da água, verifica-se que não ocorre mudança de direção do raio de luz como percebemos na Figura 1.10 (a), mas quando a incidência é num grau  $> 0^\circ$  com a normal como na Figura 1.10 (b), nota-se uma variação na direção do raio de luz ao propagar-se no segundo meio.

**Figura 1.10** – Imagem fotográfica do efeito da luz passando pelo pente e refletindo no espelho.



(a)



(b)

**Fonte:** arquivos do autor.

### **1.3.6 – Explicação**

Demonstrou-se que um feixe de luz ao incidir e atravessar a interface entre dois meios com diferentes refrações, ocorre uma alteração na direção de propagação do mesmo. Este estudo permitiu que o educando pudesse compreender que diferentes meios refringentes podem alterar a velocidade de propagação da luz. A teoria a refração e leis e propriedades estão apresentadas na seção A.3 no texto de apoio no Apêndice A.

O próximo experimento trata da formação de imagens em espelhos planos, envolvendo a reflexão da luz (seção A.2).

## **1.4 – Roteiro do Experimento 04 - Associação de Espelhos Planos<sup>6</sup>**

A proposta deste experimento é demonstrar que associando dois espelhos planos é possível visualizar a formação de mais de uma imagem, de acordo com o ângulo entre os espelhos, sendo possível observar a reflexão das próprias imagens.

### **1.4.1 - Objetivos**

- Compreender o fenômeno da reflexão da luz.
- Analisar a propagação retilínea da luz.
- Variar o ângulo entre os espelhos.
- Observar a quantidade de imagens formadas.

### **1.4.2 – Materiais Utilizados**

- 2 espelhos planos de tamanhos iguais.
- 1 transferidor impresso em papel sulfite ou um transferidor normal.
- 1 caixa de fósforos.
- 1 fita adesiva.

### **1.4.3 – Montagem Experimental**

- Cole os espelhos com a fita adesiva (Figura 1.11 (a)).
- Colocar um transferidor impresso em papel sulfite sobre a mesa; Ou marcar os ângulos em uma folha e colocar o papel sobre a mesa;
- Dispor o conjunto sobre o transferidor com um determinado ângulo de abertura entre

---

<sup>6</sup>Um exemplo deste experimento encontra-se disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=OVINyEUmzls>>.

os mesmos.

– Coloque a caixa de fósforos diante dos espelhos (Figura 1.11 (b)).

#### 1.4.4 – Procedimento Experimental

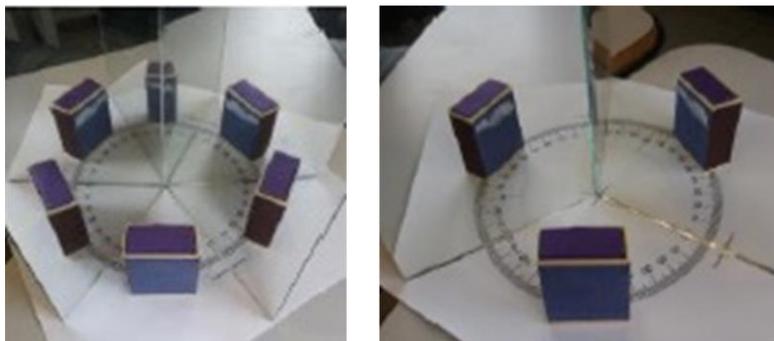
- Posicione os espelhos, por exemplo, sob um ângulo de  $60^\circ$ .
- Posicione a caixa de fósforos diante dos espelhos (Figura 1.11 (b)).
- Observe a formação de imagens nos espelhos.
- Altere os ângulos entre os espelhos, por exemplo, sob um ângulo de  $90^\circ$ .
- Anote suas observações.

#### 1.4.5 – Resultados Esperados

Este arranjo com dois espelhos permite que o estudante perceba que, alterando o ângulo entre dois espelhos, muda a quantidade de imagens projetadas pelo sistema, com isso foi perceptível que a quantidade de imagens está intimamente ligada ao ângulo entre os espelhos.

Ao observar as imagens formadas sob o ângulo de  $60^\circ$  (Figura 1.11 (a)) nota a formação de 5 imagens, sob o ângulo de  $120^\circ$  (Figura 1.11(b)) 3 imagens (uma delas não visível na foto, a que fica no vértice dos espelhos).

**Figura 1.11**– Imagem fotográfica da montagem do aparato experimental: (a) espelhos posicionados de  $60^\circ$ , e (b) espelhos posicionados de  $120^\circ$ .



(a)

(b)

Fonte: arquivos do autor

#### 1.4.6 – Explicação

Neste experimento da associação de dois espelhos permite para demonstrar a formação de imagens. A associação de espelho ocorre quando há combinação de imagens.

São ocasionadas pela luz refletida de um espelho ao atingir um segundo espelho. Confrontando o ângulo de abertura dos espelhos e a quantidade de imagens formadas, por meio da equação:

$$N = \frac{360}{\alpha} - 1.$$

válida quando:

- a razão  $\frac{360}{\alpha}$  for um número par, para qualquer posição do objeto entre os espelhos;
- a razão  $\frac{360}{\alpha}$  for um número ímpar, somente quando o objeto estiver no plano bissetor<sup>7</sup> da associação.

Outra posição interessante de posicionar os espelhos é colocar um paralelo ao outro e entre os mesmos colocar um objeto. Formam-se infinitas imagens, como a ilustrada na Figura 1. 12.

**Figura 1.12** – Imagem fotográfica da montagem do aparato experimental dos espelhos em paralelo sendo a vela o objeto.



**Fonte:** arquivos do autor.

Ainda na parte da reflexão da luz, o próximo experimento trata da formação de imagens em superfícies esféricas.

### **1.5 – Roteiro do Experimento 05 – Superfícies Refletoras Esféricas**<sup>8</sup>

Este experimento demonstra o comportamento dos raios de luz ao incidir em superfícies esféricas – no caso, côncava e convexa, referente a espelhos esféricos.

---

<sup>7</sup> Plano que divide o quadrante.

<sup>8</sup> Um exemplo deste experimento encontra-se disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=GunKGMcquHk>> para superfícies côncava e disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=m1YNF2dnORM>> para superfícies convexas.

### 1.5.1 – Objetivos

- Compreender o comportamento de reflexão da luz em superfícies esféricas.
- Analisar a mudança de direção da propagação da luz.
- Compreender as propriedades de formação de imagens em superfícies esféricas.
- Observar as características de formação de imagens.

### 1.5.2 – Materiais Utilizados

- 1 concha de aço inox.
- 1 vela.
- Fósforo

### 1.5.3 – Montagem Experimental

- Coloque a concha sobre uma mesa e fixe com uma fita adesiva pelo seu cabo;
- Acenda a vela e posicione a vela acesa a frente da concha;
- A montagem experimental está representada na Figura 1.13.

**Figura 1.13** - Imagens ilustrativas simulando a montagem experimental do experimento de superfícies esféricas.



**Fonte:** o autor. Figura ilustrativa da vela extraída e disponível em: [https://pt.pngtree.com/freepng/lighted-candles-hand-painted\\_1963969.html](https://pt.pngtree.com/freepng/lighted-candles-hand-painted_1963969.html), e a figura ilustrativa da concha extraída e disponível em: <http://koizaschic.com.br/produto/concha-inox/>.

### 1.5.4 – Procedimento Experimental

- Posicione a vela acesa diante da concha (Figura 1.14 (a)), e movimente a vela afastando ou aproximando da concha até observar uma imagem nítida e anote a imagem formada.
- Posicione a vela acesa diante da concha (Figura 1.14 (b)), e movimente a vela afastando ou aproximando da concha até observar uma imagem nítida e anote a imagem formada.
- Compare com as imagens formadas na situação ilustrada na Figura 1.15(a) e 1.15 (b).

- Anote o que ocorre com a imagem quando aproxima a vela da concha ilustrada na Figura 1.14 (a) e na Figura 1.14 (b).
- Anote o que ocorre com a imagem quando afasta a vela da concha ilustrada na Figura 1.14 (a) e na Figura 1.14 (b).

**Figura 1.14** – Imagem fotográfica do movimento a ser feito com o objeto no caso a vela em relação a concha representando (a) espelho esférico côncavo e (b) espelho esférico convexo.



**Fonte:** arquivos do autor.

### 1.5.5 – Resultados Esperados

O raio da fonte de luz (vela) incidente na superfície esférica (concha) será refletido com o mesmo ângulo do raio incidente.

A imagem formada obedecerá às propriedades de formações de imagens em superfícies esféricas (Figura 15 (a) côncavo e (b) convexo).

**Figura 1.15-** Desenho esquemático simulando os raios paralelos de luz incidindo sobre superfícies esféricas.



**Fonte:** o autor.

Um exemplo de resultado de imagem formada na concha está apresentado na Figura 1.16. Este é o caso de um espelho côncavo.

**Figura 1.16** - Imagem fotográfica da imagem (i) de um objeto (o – vela) formado na concha, virtual, menor e invertida.



Fonte: arquivos do autor.

### 1.5.6 – Explicação

Um raio de luz ao incidir numa superfície esférica obedece às seguintes características (teoria na seção A.2.2):

- Os raios de luz incidentes, refletidos e a reta normal são coplanares no ponto de incidência.
- O ângulo de incidência e reflexão são iguais em relação à normal à superfície.
- Um feixe de luz paralelo ao eixo principal numa superfície côncava converge num mesmo ponto denominado foco principal.
- Um feixe de luz incidindo em uma superfície convexa irá divergir, porém, seus prolongamentos possuem um mesmo ponto em comum chamado de foco principal virtual.

O próximo experimento trata do comportamento da luz em lentes esféricas.

## 1.6 – Roteiro do Experimento 06 - Lentes de Aumento<sup>9</sup>

Este experimento simula o comportamento da luz ao incidir duas superfícies refrativas, pois desvia o raio de luz de sua trajetória inicial. A refração é o fenômeno cuja característica é a mudança de direção do raio de luz propagado ao atravessar diferentes meios. Sua manipulação permite observar imagens de objetos muito pequenos como num microscópio ou muito distante em um telescópio, realizando um aumento do objeto visualizado.

---

<sup>9</sup>Um exemplo deste experimento encontra-se disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=Xt1mfLLEAGA>>.

### 1.6.1 – Objetivos

- Observar o comportamento da luz ao atravessar diferentes meio homogêneos de refração distinta.
- Manipular os raios de luz.
- Compreender o funcionamento de lentes de aumento.
- Compreender a função dos óculos corretivos da visão.
- Analisar a formação de imagens através de lentes esféricas.

### 1.6.2 – Materiais Utilizados

- 2 canetas *laser*.
- 1 garrafa *pet* transparente de 2 L.
- 1 bisnaga (10g) cola epóxi.
- 1 caneta, marcador permanente ponta fina.
- 1 recipiente com água até a metade, com tamanho o suficiente para colocar a mão.
- 1 objeto circular em torno de 8 cm de diâmetro.

### 1.6.3 – Montagem do Aparato Experimental

– Recorte dois pedaços circulares de 0,05m de diâmetro da região abaixo do gargalo da garrafa *pet* (Figura 1.17 (a)), a fim de aproveitar o aspecto oval da garrafa. Para cortar duas partes iguais, coloque algo circular do lado interno (no caso uma um rolo de fita isolante - Figura 1.17 (a) e (b) - e faça o contorno com uma caneta de quadro branco e corte com a tesoura, repita mais uma vez de forma que terá as duas partes da lente.

**Figura 1.17** - Desenho esquemático marcando com caneta a garrafa para cortar as laterais da lente esférica.



(a)

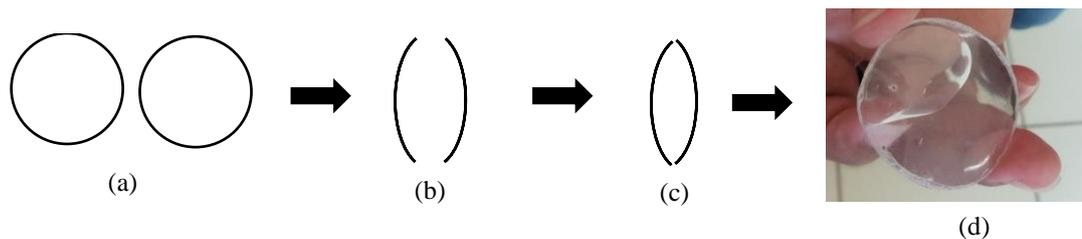


(b)

**Fonte:** Manual do mundo, site: <<https://www.youtube.com/watch?v=iGgO82eBsAI>>.

- Misture sobre um papel, um pouco do conteúdo de cada bisnaga da cola com um palito.
- Posicione as laterais da lente conforme indicado na Figura 1.18 (b). Passe cola epóxi nas bordas das peças.
- Cole-as de modo que a parte oval fique para fora, formando uma peça delgada (Figura 1.18 (c)).
- Espere secar a cola, e verifique se há vazamentos, para isso mergulhe a lente dentro de um recipiente com água e aperte, marque com a caneta onde está vazando, enxugue e passa cola (prepare mais se necessário) no local;
- Deixe-a secar, faça um furo com uma agulha próximo à borda, mergulhe na água, aperte e solte, de forma a preenchê-la completamente de água. A Figura 1.18 (d) apresenta a lente pronta.

**Figura 1.18** - Desenho esquemático simulando a montagem experimental das lentes esféricas.

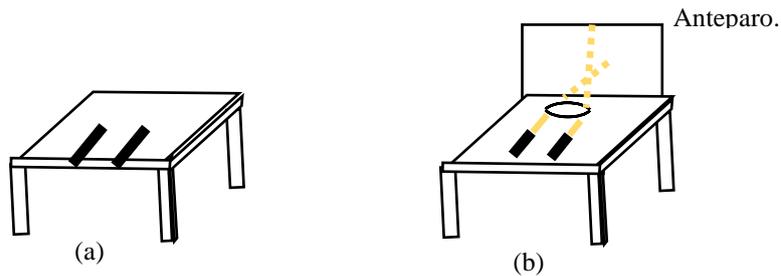


**Fonte:** o autor e (d) arquivos do autor.

#### 1.6.4 – Procedimento Experimental

- Aproxime a lente sobre um texto de um livro e observe a variação do tamanho das letras.
- Posicione sobre uma mesa as duas canetas *laser* paralelas uma a outra na largura da lente (Figura 1.19 (a)).
- Ligue as canetas *laser* e posicione a lente (segure) de forma que os feixes de luz incidam na linha mediana da lente, se necessários, apoiar as canetas sobre um livro, (Figura 1.19 (b)).
- Movimente a lente até encontrar o ponto focal entre o anteparo e as canetas laser.
- Observe o que ocorre com o feixe de luz.
- Anote suas observações.

**Figura 1.19-** Desenho esquemático simulando a montagem experimental da lente e as canetas laser.



Fonte: o autor.

### 1.6.5 – Resultados Esperados

Ao observar por meio de uma lente é possível notar uma variação nas imagens. O feixe de luz ao transpor uma lente (côncava ou convexa) sofre uma refração, mudança de direção de propagação, redirecionando a luz.

As Figuras 1.20 (a) ilustram uma lente côncava. A imagem da Figura 1.20 (b) ilustra dois raios de luz que convergiram ao transpor diferentes meios refringentes e divergindo na sequência, isso ocorre pelo copo com água representar uma lente cilíndrica.

**Figura 1.20** – Imagens fotográfica ilustrando lentes convergentes (a) e (b) esféricas e (c) cilíndrica, as setas em amarelo indicam os raios de luz incidindo no copo, e é possível ver a sua convergência e divergência após passar pelo copo.



Fonte: (a) Arquivos do autor, e (b) sugerido por um aluno e arquivos do autor.

### 1.6.6 – Explicação

Este experimento ilustra ao estudante, o funcionamento, por exemplo, de óculos corretivo, equipamentos de pesquisas astronômicas, câmeras digitais e lupas. As lentes esféricas e cilíndricas são sistemas ópticos constituídos por três meios transparentes homogêneos, possuindo em seus pares de fronteiras (faces da lente) ao menos uma superfície esférica ou cilíndrica.

Quando um feixe de luz incide sobre uma lente, caracterizamos como convergente, quando raios paralelos de luz são refratados e direcionados para um único ponto, ou divergente,

quando os raios de luz paralelos entre si são refratados e divergem a partir de um único ponto. Teoria completa sobre tipos de lentes esféricas e formação de imagens está na seção A.4.

Visto como funciona uma lente convergente, o próximo experimento tratará do protótipo do olho humano, no contexto da OG.

## **1.7 – Roteiro do Experimento 07 - Protótipo do Olho Humano<sup>10</sup>**

Este experimento visa ilustrar as características de um olho humano a partir de uma maquete.

### **1.7.1 – Objetivos**

- Conhecer o funcionamento do olho humano.
- Relacionar os conhecimentos interdisciplinares entre Arte, Português, Biologia e a Física.
- Compreender como forma-se a imagem dentro do olho.
- Conhecer as doenças visuais.
- Conscientizar sobre os cuidados para prevenção de doenças visuais.

### **1.7.2 – Materiais Utilizados**

- 3 folhas de papel cartão branco.
- 1 folha de papel cartão verde.
- 2 m de linha de crochê vermelho.
- 1 tesoura.
- 1 estilete.
- 1 grampeador.
- 1 lente biconvexa, com 9 cm de diâmetro, e vergência de + 3,3 di.
- 1 folha de papel vegetal.
- 1 fita adesiva.
- 10g de cola branca.

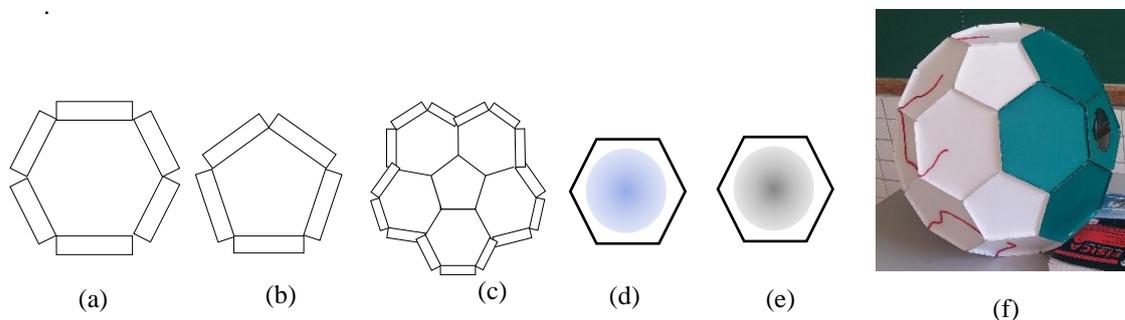
---

<sup>10</sup> Trabalho inspirado na dissertação de mestrado: SANTOS, M. A.. Conhecendo o olho humano: um protótipo usado para o ensino de Física voltado para a educação de jovens e adultos. 133 f. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) – Departamento de Física, Universidade Estadual de Maringá, Paraná: Maringá. 2016. disponível em: <<http://www1.fisica.org.br/mnpef/?q=dissertacao/conhecendo-o-olho-humano-um-prot%C3%B3tipo-usado-para-o-ensino-de-f%C3%ADsica-voltado-para>>.

### 1.7.3 – Montagem do Aparato Experimental

- Recorte 20 hexágonos (para formar um icosaedro truncado) de lado 0,10 m, faça uma aba 0,007 m e recorte as pontas (Figura 1.21 (a)).
- Recorte 12 pentágonos de lado 0,10 m, faça uma aba 0,007m e recorte as pontas (Figura 1.21 (b)).
- Grampeie as peças umas às outras (Figura 1.21(c)).
- Selecione uma peça e recorte-a para fixar uma lente (Figura 1.21 (d) lado pintado em verde escuro).
- Selecione uma peça do lado oposto à lente e recorte-a para fixar o papel vegetal (Figura 1.21 (e)).
- Represente a corrente sanguínea com a linha de crochê, colando aleatoriamente (Figura 1.21 (f)).
- O protótipo pronto possui 0,42 m de diâmetro (Figura 1.21 (f));
- Posicione uma fonte secundária de luz iluminada (objeto) diante do protótipo do olho.

**Figura 1.21** – Desenhos ilustrativos do passo a passo da montagem do protótipo do olho humano.



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

### 1.7.4 – Procedimento Experimental

- Realize este experimento preferencialmente numa sala com pouca luz.
- Acenda a fonte luminosa diante da lente e encontre o ponto focal da lente do protótipo, aproximando ou afastando (Figura 1.22 (a)).
- Observe no lado oposto do protótipo (papel vegetal) (Figura 1.22 (b)).
- Observe o que surgiu no anteparo (papel vegetal).
- Anote suas observações.

**Figura 1.22** - Desenho esquemático simulando o experimento do protótipo do olho humano.

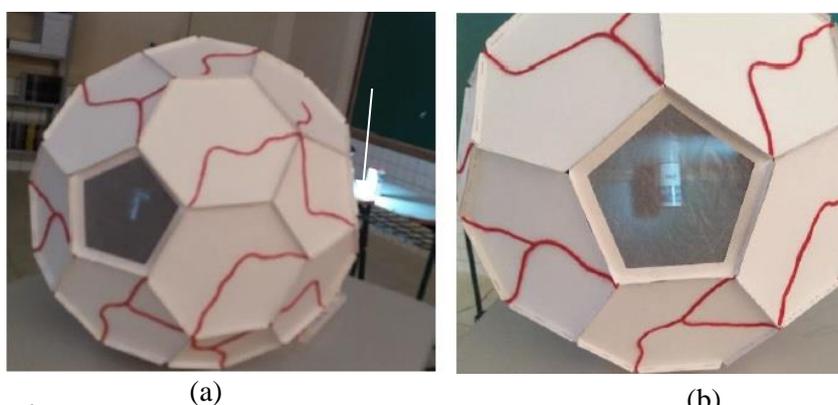


**Fonte:** Desenho ilustrativo de um icosaedro truncado disponível em: [http://www.notapositiva.com/old/pt/trbestbs/matematica/10\\_solidos\\_platonicos\\_d.htm](http://www.notapositiva.com/old/pt/trbestbs/matematica/10_solidos_platonicos_d.htm). Adaptada pelo autor.

### 1.7.5 – Resultados Esperados

O estudante poderá observar a formação de imagens (Figura 1.23 (a) e (b)) no anteparo (papel vegetal) a mais ou menos 1,45 m de distância da lente do protótipo do olho humano. Espera-se que compreenda o funcionamento de um olho humano, desde a passagem da luz pela retina, até a formação de imagem no cristalino.

**Figura 1.23** - Imagem fotográfica do protótipo mostrando (a) o olho e indicado, com uma seta em branco, o objeto (este se encontra em torno de 1,45 m da lente do protótipo), e em (b) em destaque a imagem formada no anteparo (papel vegetal) representando a retina.



**Fonte:** arquivos do autor.

### 1.7.6 – Explicação

Analisando o olho de maneira simplificada, nota-se que é um órgão responsável pela percepção da luminosidade.

A luz penetra nos órgãos do sistema visual, formando a imagem na retina (maiores detalhes na seção A.5), que funciona como um filtro de coleta de imagens. Estas imagens são transmitidas ao cérebro por meio de pulsos eletromagnéticos. O cérebro interpreta e traduz tais informações nas imagens.

## **2 – Aplicação do Produto Educacional**

Neste capítulo apresentaremos sequência metodológica, incluindo a sugestão de aplicação deste PE, utilizando como estratégia os aparatos experimentais confeccionados pelo docente por meio dos roteiros apresentado no Capítulo 1.

Lembrando que, este PE subsidia tópicos referentes à OG (Apêndice A) de modo a possibilitar que o estudante relacione a aprendizagem da óptica na sua vivência, para que o conhecimento adquirido possa fazer sentido na compreensão dos fenômenos do cotidiano.

Deste modo, os experimentos têm caráter investigativo que possibilita o reconhecimento do novo (teoria) com o antigo (conhecimentos prévios) a partir do uso de materiais simples e de baixo custo, o que facilita aos estudantes a aquisição desses materiais e a oportunidade de reelaboração dos subsunçores (Ausubel, 1982), configurando-se numa aprendizagem significativa. Portanto, o estudante adquire uma postura investigativa, tendo neste material uma forma potencial de desenvolvimento significativo que proporciona uma aprendizagem significativa sobre a Óptica Geométrica.

Os experimentos podem ser reproduzidos e utilizados em qualquer ambiente escolar, não requerem espaço específico e pode ser trabalhado na própria sala de aula. O propósito é: assegurar a aquisição da aprendizagem significativa, propiciar uma postura crítica sobre os aspectos que norteiam a ciência. As atividades foram desenvolvidas em 09 horas aulas (cada hora/aula têm 50 minutos) com alunos do segundo ano do ensino médio.

O PE fundamenta-se na valorização da participação do estudante, a aplicação de cada experimento é tratada em no máximo quatro etapas:

- 1º – Disponibilização do aparato experimental, aplicação de um questionário para que os alunos escrevam o que sabem sobre seu funcionamento.
- 2º – Manuseio do aparato pelos alunos, com aplicação em paralelo de um questionário sobre os efeitos observados.
- 3º – Por meio do docente, realizando junto o experimento e explicando o fenômeno físico, aplicação de um questionário sobre a observação feita por parte dos alunos, pesquisa no livro didático para auxiliar nas resoluções das respostas.
- 4º – Atividade de pesquisa em que o aluno traga uma proposta teórica ou experimental (com materiais de acesso a sua realidade) que envolva o conteúdo abordado.

No Quadro 2.1 apresenta-se o conteúdo a ser abordado por aula, utilizado na aplicação do PE.

**Quadro 2.1** - Distribuição do conteúdo por aula para aplicação do PE.

Atividade/Conteúdo	Número de aulas	Temas	Experimentos
Iniciando com um pré-teste, seguido de um debate.	01	<ul style="list-style-type: none"><li>• Conhecimentos prévios.</li></ul>	-----
Decomposição e recomposição da luz, espectro eletromagnético.	01	<ul style="list-style-type: none"><li>• Discutir os tipos de fontes de luz;</li><li>• Discutir os fenômenos da propagação retilínea.</li></ul>	Prisma óptico; Disco de Newton.
Reflexão da luz.	01	<ul style="list-style-type: none"><li>• Leis da reflexão</li><li>• Conceito de raio de luz incidente e refletido</li></ul>	Pente reflexivo.
Refração da luz.	01	<ul style="list-style-type: none"><li>• O que é refração;</li><li>• Leis da refração;</li><li>• Fenômenos da reflexão total e dispersão.</li></ul>	Desvio do raio de luz.
Espelhos planos.	01	<ul style="list-style-type: none"><li>• Formação de imagens virtuais.</li></ul>	Associação de espelhos.
Espelhos esféricos.	01	<ul style="list-style-type: none"><li>• Formação de imagens;</li><li>• Equações matemáticas;</li><li>• Propriedades de formação de imagens.</li></ul>	Superfícies refletoras esféricas.
Lentes	01	<ul style="list-style-type: none"><li>• Lentes: convergentes e divergentes;</li><li>• Elementos geométricos de uma lente;</li><li>• Propriedades de formação de imagens.</li></ul>	Lentes de aumento
Olho Humano e as anomalias da visão	01	<ul style="list-style-type: none"><li>• Formação de imagens dentro do olho;</li><li>• Problemas visuais.</li></ul>	Protótipo do olho humano.
Questionário Avaliativo - Pós-teste	01	<ul style="list-style-type: none"><li>• Coleta de dados sobre a evolução da aprendizagem.</li></ul>	-----

Fonte: o autor.

## 2.1 – Plano Geral de Aula

Cada procedimento experimental se encaixará neste plano geral de aulas.

**Componente Curricular:** Física

**Série:** 2º - Ensino Médio

**Carga horária:** 09 horas-aulas

**Conteúdo estruturante:** Eletromagnetismo

**Conteúdo básico:** A Natureza da Luz

**Conteúdo específico:** Óptica Geométrica

### Objetivo Geral:

- contribuir para que o estudante compreenda a luz como uma fração da radiação eletromagnética, situada entre as radiações de altas e baixas energias, cujas características e comportamento sugerem um caráter ora corpuscular, ora ondulatório, dependendo de como se dá sua interação com a matéria.
- compreender o fenômeno de desvio dos raios de luz, a refração, que ocorre na mudança de um meio homogêneo para outro, como por exemplo, entre o ar e a água. Os processos de reflexão como sendo o fenômeno de retorno da luz para o meio em que se propaga.
- compreender fenômenos do cotidiano referentes a luz como a formação do arco-íris, a compreensão das cores e do céu azul com os fenômenos estudados.

### Objetivos Específicos:

- por meio de experimentos, conceba e compreenda os fenômenos luminoso e manipule materiais passivos de representar tais fenômenos afim de compreender os temas abordados nas diretrizes curriculares do Paraná e nos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN's)<sup>11</sup> de Física.
- compreenda as características da luz, e seus efeitos, o comportamento do olho humano e suas anomalias causadas por diversos fatores patológicos e da idade com correções através de lentes.

---

<sup>11</sup> PCN's - Ensino Médio Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais FÍSICA. <[http://www.sbfisica.org.br/arquivos/PCN\\_FIS.pdf](http://www.sbfisica.org.br/arquivos/PCN_FIS.pdf)>. Acesso em 20 de julho de 2018.

- reconhecer a importância da Física em seu cotidiano, identificando, compreendendo as características e o comportamento da luz interagindo em cada ambiente, e em diferentes objetos, bem como o comportamento do olho humano.

## **Justificativa**

Neste PE é feito o uso de uma série de experimentos confeccionados com materiais simples de baixo custo, a fim de promover uma postura crítica no estudante e que perceba-se como cientista e compreenda como é fazer ciência.

O papel do professor é criar condições favoráveis para que o estudante sinta-se à vontade e desafiado a buscar conhecimento a fim de melhorar seu nível de aprendizado. Desenvolver a cultura da investigação teórica e física como ferramenta de confronto entre o seu saber e aquilo que se investiga, contribuindo para o aprimoramento da ciência.

Deste modo, espera-se que o estudante não seja apenas espectador nas aulas de Físicas, mas sim um colaborador que desenvolve seus próprios aparatos a fim de manipular e compreender os fenômenos estudados. O professor terá um papel importante como orientador e colaborador neste processo.

## **Materiais Didáticos**

- Livro didático utilizado pela instituição de ensino.
- Aparato experimental.
- Materiais para manipulação dos estudantes (lápiz, borracha, caneta, cartolina, papelão, cola, pincel, vidro, papel sulfite, lápis de cor, lentes, espelhos planos e esféricos, água, caixa de plástico ou acrílico, caneta *laser*, fita adesiva).
- Quadro negro.
- Giz.

## **2.2 - Encaminhamento Metodológico**

Nesta seção, apresenta-se o encaminhamento metodológico de aplicação das nove aulas e do PE.

### **2.2.1 – Aula 01- Conhecimentos Prévios**

- **Desenvolvimento** - Explicação pelo professor sobre a percepção do mundo que se adquire por meio de nossos sentidos da visão. Referenciando que o segmento da Física

que estuda a luz é a Óptica. O professor deve aplicar uma atividade investigativa que identifique os conhecimentos prévios dos estudantes, sobre os conceitos da Óptica Geométrica.

Nesta primeira aula investiga-se por meio de um pré-teste<sup>12</sup>, o conhecimento dos alunos em relação aos conceitos abordados sobre óptica geométrica. Esta contém 5 questões dissertativas e 7 questões objetivas. As questões forem selecionadas dentro do contexto a ser abordado em sala de aula, assim como foram selecionados os experimentos.

### 2.2.1.1 Atividade - Pré-Teste

- 1) O que é luz?
- 2) O que é refração?
- 3) O que é reflexão?
- 4) Como é formado o Arco-íris?
- 5) Por que um lápis “parece” quebrado ao ser colocado em um copo transparente com água?
- 6) Qual problema da visão pode ser corrigido com uma lente divergente:
  - a)  hipermetropia
  - b)  miopia
  - c)  glaucoma
  - d)  catarata
  - e)  nenhuma das alternativas anteriores
- 7) O fenômeno conhecido como eclipse solar evidencia que a luz:
  - a)  é independente quando se propaga.
  - b)  é reversível quando se propaga.
  - c)  se propaga em linha reta.
  - d)  se propaga em linha curva.
  - e)  contorna os objetos ao se propagar.
- 8) Ao observar um objeto que não seja a fonte de luz e este se apresente na cor azul. O objeto

---

<sup>12</sup> As questões adotadas são adaptadas e/ou selecionadas de bancos de questões disponíveis na *internet*, cujos direitos autorais pertencem a quem as formularam.

parece azul por quê:

- a)  refrata a luz azul.
- b)  difrata a luz azul.
- c)  emite luz azul.
- d)  reflete luz azul.
- e)  nenhuma das alternativas anteriores.

9) A Figura A ilustra uma bola em frente de um espelho plano e um observador observando o espelho. A imagem da bola está localizada:

- a)  em frente do espelho.
- b)  na superfície do espelho.
- c)  atrás do espelho.
- d)  não é possível saber.
- e)  as informações não são suficientes para determinar.

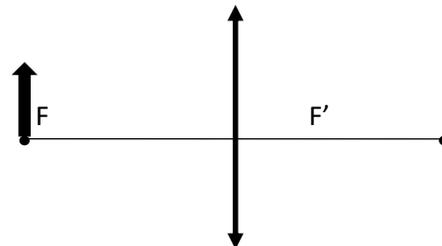
**Figura A:** Ilustra uma bola e um observador diante de um espelho plano.



10) A Figura B representa um objeto colocado sob o foco objeto F, diante de uma lente convergente. Assinale a alternativa que melhor define a formação da imagem na lente:

- a)  imagem real, invertida e menor.
- b)  imagem real, invertida e igual.
- c)  imagem real, invertida e maior.
- d)  imagem imprópria se forma muito longe.
- e)  imagem virtual, direita e maior.

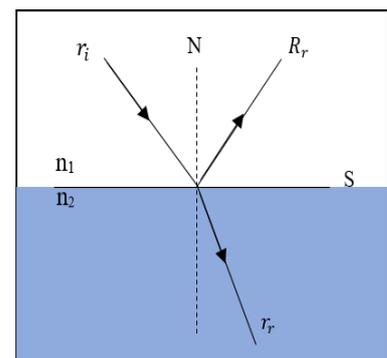
**Figura B:** Representação de uma lente convergente.



11) Observando a Figura C é possível distinguir o raio incidente  $r_i$ , refletido  $R_r$  e refratado  $r_r$ . Assinale a afirmativa que explica este fenômeno:

- a)  somente se  $n_1 > n_2$
- b)  somente se  $n_2 > n_1$ .
- c)  somente se  $n_2 = n_1$ .
- d)  esta representação não existe.
- e)  não depende de  $n_1$  e  $n_2$ .

**Figura C:** Representação de um raio de luz incidente  $r_i$ , refletido  $R_r$  e refratado  $r_r$  uma superfície S de separação e uma reta normal N.

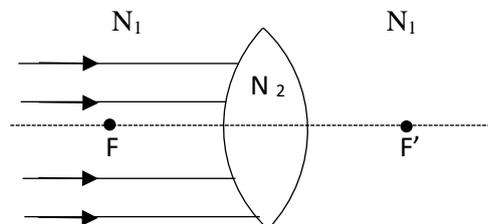


12) A Figura D representa raios de luz incidindo numa lente biconvexa de acrílico no ar. Escolha a alternativa que se espera dos raios ao atravessar a lente:

Dados  $N_1 < N_2$ .

- a) ( ) raios divergentes.
- b) ( ) raios convergentes.
- c) ( ) raios paralelos.
- d) ( ) raios bloqueados.
- e) ( ) raios retornando.

**Figura D** - Desenho esquemático representando um feixe de luz paralelo incidente em uma lente biconvexa de índice de refração  $N_2$  imersa em um meio de índice de refração  $N_1$ .



**Considerações:** após recolher o teste, promover um debate sobre os temas abordados comentando as dificuldades encontradas durante a resolução do mesmo, a fim de instigá-los e despertar a curiosidade sobre o assunto.

**Sugestão:** o professor pode pedir aos alunos uma leitura prévia do livro didático<sup>13</sup> adotado neste trabalho ou o livro escolhido pela instituição de ensino que aborde os conteúdos sobre a Óptica Geométrica, para iniciar o contato dos estudantes com materiais científicos que tratam sobre o tema.

### 2.2.1.1 – Gabarito nº 01 – Questionário Prévio - Aula 01

- 1 – O que é luz? É uma fração do espectro eletromagnético que impressiona os olhos.
- 1 – O que é refração? É o fenômeno óptico da variação da velocidade da luz, para o observador, ao passar de um meio material óptico para outro.
- 2 – O que é reflexão? É o retorno de um feixe de luz ao próprio meio de origem, após incidir sobre uma interface que o separa do outro meio.
- 3 – Como é formado o Arco-íris? Devido à ocorrência de fenômenos como a refração, a decomposição da luz branca, seguida da reflexão total da luz no interior de uma gotícula de água em suspensão na atmosfera.
- 4 – Por que um lápis “parece” quebrado ao ser colocado em um copo transparente com água? Devido ao fenômeno da refração da luz, como a luz se propagou em meios materiais distintos com refringências diferentes, ocorre à variação da velocidade da luz, com isso os raios de luz muda de direção dando a aparência de estar quebrado.

<sup>13</sup>Livro didático: Yamamoto, K.. Física para o ensino médio, vol.2: termologia, óptica, ondulatória / Kazuhito Yamamoto, Luiz Felipe Fuke. -- 4.ed -- São Paulo: Saraiva, 2016.

6 - Qual problema da visão pode ser corrigido com uma lente divergente? Item b – Miopia.

7 - O fenômeno conhecido como eclipse solar evidencia que a luz: item c – se propaga em linha reta.

8 – Ao observar um objeto que não seja a fonte de luz e este se apresenta na cor azul. O objeto parece azul por quê: item d – Reflete luz azul.

9 - A Figura A ilustra uma bola em frente de um espelho plano e um observador observando o espelho. A imagem da bola está localizada: item c – atrás do espelho.

10 – A Figura B representa um objeto colocado sob o foco objeto F, diante de uma lente convergente. Assinale a alternativa que melhor define a formação da imagem na lente:

Item d – imagem imprópria se forma muito longe.

11 - Observando a Figura C é possível distinguir o raio incidente RI, refletido Rr e refratado RR. Assinale a afirmativa que explica este fenômeno:

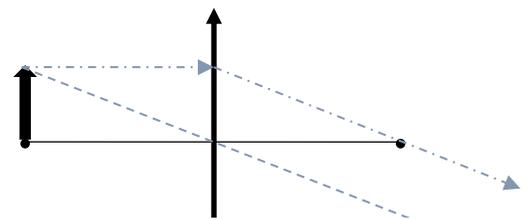
Item b – Somente se  $n_2 > n_1$ .

Comentário: o raio refratado (RR) se aproxima da normal.

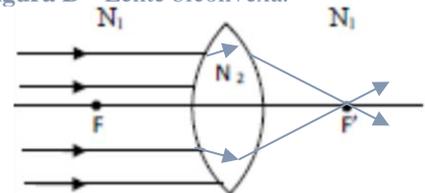
12 - A Figura D representa raios de luz incidindo numa lente biconvexa de acrílico no ar. Escolha a alternativa que se espera dos raios ao atravessar a lente: Dados  $N_1 < N_2$ .

Item b - raios convergentes

**Figura B:** Representação de uma lente convergente.



**Figura D - Lente biconvexa.**



### **2.2.2 – Aula 02- Princípios da Óptica Geométrica: cores e luz, decomposição e recomposição espectro da luz visível**

Considerando a luz no contexto do espectro eletromagnético percebe-se que está presente num intervalo situado entre as radiações de altas e baixas energias, cujas características e comportamento sugerem um caráter corpuscular e/ou ondulatório, dependendo de como se dá sua interação com a matéria.

Sua frequência é compreendida na ordem de  $10^{-14}$  HZ com velocidade aproximada de  $3 \times 10^8$  m/s.

Ao observar o espectro das ondas eletromagnéticas, sua radiação é percebida por meio do olho humano como sendo uma luz branca, este espectro por sua vez, é composto por ondas com frequências diferentes que vai do vermelho até o violeta. Para compreender a visão, devemos considerar que as células fotossensíveis do olho, captam a radiação da luz visível refletidos pelos objetos e as enviam para o cérebro como sinais eletromagnéticos, as células neurológicas as identificam e compreende como imagens.

É possível verificar que a luz branca é uma combinação das diferentes ondas luminosas visíveis, basta fazê-la atravessar um meio refrativo transparente, com isso aparecerá vários raios de luz com diferentes cores. Esta separação ocorrerá devido à diferença do índice de refração entre os dois meios homogêneos.

Nesta aula, apresenta-se o aparato utilizado, e o roteiro de aplicação. Na Figura 2.1, está a foto do prisma proposto neste PE, e que seja levado para análise experimental dos alunos. O objetivo deste experimento é estudar o fenômeno de dispersão da luz branca: sua decomposição e como atividade aos alunos fica a sua recomposição no espectro da luz visível por meio do disco de Newton.

**Figura 2.1** - Imagem fotográfica do prisma confeccionado pelo autor e apresentado aos estudantes.



**Fonte:** arquivo do autor.

### **2.2.2.1 Roteiro de Aplicação Nº 01 – Prisma Óptico e Disco de Newton**

Esta aula foi dividida em 4 etapas. A primeira apresentando o aparato experimental, no caso o prisma óptico, preenchido com água e uma caneta de luz *laser* e três questões sobre o mesmo, sobre o que acham que irá ocorrer ao incidir a luz no prisma. A segunda, manipular o aparato e responder 4 questões baseadas no que ocorreu durante o experimento. A terceira com 4 questões do que concluíram, com relação a execução experimental, podendo fazer uso do auxílio de pesquisa. A quarta e última etapa, a conclusão final, baseada em 3 questões sobre o experimento, e em comparação com a proposta feita pelo docente, com outro aparato experimental, o Disco de Newton, confeccionado pelos próprios alunos.

A seguir seguem as questões<sup>14</sup> das 4 etapas:

- **Etapa 1 – Apresentar o Aparato e Questionar o Grupo**

Qual a sua opinião sobre:

- a) A luz irá atravessar o prisma ou o prisma irá bloquear a passagem da luz?
- b) O prisma irá interferir ou não na propagação da luz? De que forma, caso sua análise se confirme, isso ocorre?
- c) Qual a sua percepção sobre a relação luz e prisma?

- **Etapa 2 – Depois de Manipular o Aparato – Ver Procedimento Experimental do Roteiro do Experimento 1, Capítulo 1.**

- a) O que seu grupo notou?
- b) Especifique as alterações que seu grupo percebeu?
- c) O prisma bloqueou a luz?
- d) Qual a sua percepção sobre a relação luz e prisma?

- **Etapa 3 – Atividades Concluintes: Por Meio de Pesquisas no Material Didático e Internet**

- a) Quantas cores o grupo pode perceber?
- b) Ilustre em uma folha e descreva o fenômeno:
- c) Qual a relação entre a luz branca e o espectro de cores que ela gera em um prisma?
- d) Porque a luz se decompõe ao passar pelo prisma?

- **Etapa 4 – Conclusão da Aplicação do Roteiro**

- a) Sabendo que as cores que aparece no espectro são: vermelho, laranja, amarela, verde, azul, anil e violeta. Será que é possível reconstituir o fenômeno? De que forma?
- b) O professor sugere a construção do Disco de Newton e os questiona se funcionaria; após discussões, produzem o disco (Experimento 1.1b).
- c) O que o grupo notou observando o aparato “Disco de Newton”?

**Sugestões:** após os debates e discussão dos grupos, deverá ser encaminhado, caso o professor considere necessário, uma análise no material didático e resoluções das atividades nele propostas. Espera-se que o estudante consiga compreender o fenômeno da dispersão luz visível.

---

<sup>14</sup> Baseado na referência (ROBERTO, 2009).

### 2.2.2.2 Gabarito nº 02 – Questionários Aula 02

- **Etapa 1 – Apresentar o aparato e questionar o grupo**

Qual a sua opinião sobre:

- a) A luz irá atravessar o prisma ou o prisma irá bloquear a passagem da luz?  
Resposta esperada: respondida no item 2 c)
- b) O prisma irá interferir ou não na propagação da luz? De que forma, caso sua análise se confirme, isso ocorre?  
Resposta esperada: Depende do ângulo de incidência. Se incidir obliquamente irá sofrer uma refração ao entrar no prisma e outra ao sair, dispersando em 7 cores.
- c) Qual a sua percepção sobre a relação luz e prisma?  
Resposta esperada: Espectro da luz visível.

- **Etapa 2 – Depois de manipular o aparato**

- a) O que seu grupo notou? Resposta coletiva, e que notaram o espectro da luz visível.
- b) Especifique as alterações que seu grupo percebeu? Resposta: O feixe de luz ao atravessar o prisma sofre refração decompondo-o.
- c) O prisma bloqueou a luz? Resposta: Não
- d) Qual a sua percepção sobre a relação luz e prisma? Resposta: A luz é uma onda eletromagnética composta por infinitos raios de luz monocromáticos que ao transpor um prisma ocorre sua decomposição, sendo possível sua percepção mesmo a olho nu.

- **Etapa 3 – Atividades concluintes: por meio de pesquisas no material didático e internet**

- a) Quantas cores o grupo pode perceber? Resposta: Sete, são elas: vermelho, alaranjado, amarelo, verde, azul, anil e violeta.
- b) Ilustre em uma folha e descreva o fenômeno. Resposta: desenhar a decomposição observada. Exemplo Figura 1.4.
- c) Qual a relação entre a luz branca e o espectro de cores que ela gera em um prisma? Resposta: Um feixe de luz é composto por infinitos raios de luz monocromáticos.
- d) Porque a luz se decompõe ao passar pelo prisma? Resposta: Devido ao fenômeno da refração.

- **Etapa 4 – Conclusão da aplicação do roteiro**

- a) Sabendo que as cores que aparece no espectro são: vermelho, laranja, amarela, verde, azul, anil e violeta. Será que é possível reconstituir o fenômeno? De que forma? Resposta: Espera-se que a resposta sim, com a utilização de um aparato como o Disco de Newton.
- b) O professor sugere a construção do disco de Newton e os questiona se funcionaria; após discussões, produzem o disco. Resposta: Experimento 1.1.b.

- c) O que o grupo notou observando o aparato “Disco de Newton”? Resposta: Espera-se que o grupo visualize a união das cores do disco, aproximando sua tonalidade a cor branca (Figura 1.6).

### **2.2.3 – Aula 03 – Reflexão da Luz**

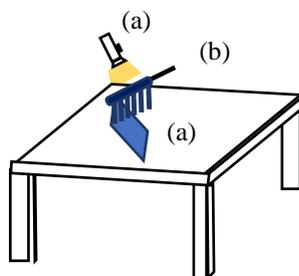
É um fenômeno que acontece quando raios de luz incidem em uma superfície plana refletora, ou seja, desviam para o mesmo meio de onde se propagaram. A teoria encontra-se no texto de apoio, seção A.2.

Nesta aula, apresenta-se o aparato sobre: luz, pente e espelho, bem como o procedimento experimental (disponível passo a passo na seção 1.2) e o roteiro de aplicação nº 02. O objetivo deste experimento é explorar o processo de reflexão e a trajetória da luz, trabalhando inclusive a formação de sombras.

#### **2.2.3.1 Roteiro de Aplicação nº 02 –Pente Refletivo**

Neste experimento deve-se incidir a luz de uma lanterna (c) de frente a um pente (b) que está perpendicular a um espelho plano (a), conforme ilustrado na Figura 2.3

**Figura 2.3** - Desenho esquemático simulando a montagem do experimento de reflexão confeccionado pelo docente e apresentado aos estudantes: (a) Lanterna, (b) Pente e (c) espelho plano perpendicular ao pente.



**Fonte:** o autor, adaptado da ref. < <http://www2.fc.unesp.br/experimentosdefisica/>>

A seguir apresentam-se as questões<sup>15</sup> referentes a cada uma das etapas da aplicação do experimento. Neste caso foram propostas 3 etapas, sendo: 2 questões na Etapa 1, 5 questões na Etapa 2 e duas questões na Etapa 3.

- **Etapa 1 – Apresentando o aparato e questionar o grupo**

Qual a sua opinião sobre os raios de luz quando:

<sup>15</sup> Baseado na referência (ROBERTO, 2009).

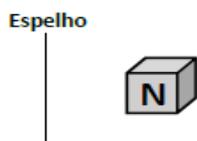
- a) A luz e o pente diante do espelho? Represente os raios de luz geometricamente.
- b) A luz e o espelho obliquamente ao espelho? Represente os raios de luz geometricamente.

- **Etapa 2 – Depois de manipular o aparato experimental -** Ver Procedimento Experimental do roteiro do experimento 03, Capítulo 1.

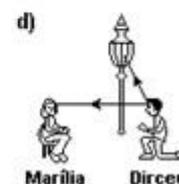
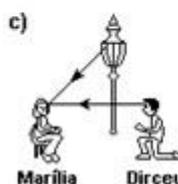
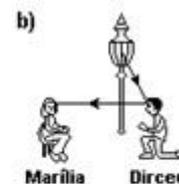
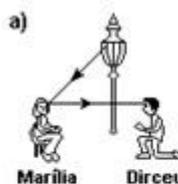
- a) O que seu grupo notou em cada caso? Houve reflexão nos dois momentos?
- b) Represente graficamente o fenômeno observado.
- c) Mudou alguma coisa em sua percepção após a observação?
- d) O que podemos aferir sobre os raios de luz quanto à sua propagação?
- e) A imagem formada é direita ou invertida?

- **Etapa 3 – Atividades concluintes: por meio de pesquisas no material didático e internet.**

- (a) Determine geometricamente as imagens formadas pelo espelho:



b) (UFMG) Marília e Dirceu estão em uma praça iluminada por uma única lâmpada. Assinale a alternativa em que estão CORRETAMENTE representados os feixes de luz que permitem a Dirceu ver Marília.



**Sugestões:** após os debates e discussão dos grupos, deverá ser encaminhado, caso o professor considere necessário, uma leitura no material didático e resolver as atividades nele propostas. Espera-se que o educando seja capaz de compreender o fenômeno da reflexão da luz.

### 2.2.3.2 Gabarito nº 03 – Questionários Aula 03

- **Etapa 1 – Apresentando o aparato e questionar o grupo**

Qual a sua opinião sobre os raios de luz quando:

- a) a luz e o pente diante do espelho, represente os raios de luz geometricamente.
- b) A luz e o pente obliquamente ao espelho? Represente os raios de luz geometricamente.

Resposta: Cada aluno irá responder desenhando de acordo com o que imagina que ocorreria.

As respostas corretas estão apresentadas no item b da Etapa 2.

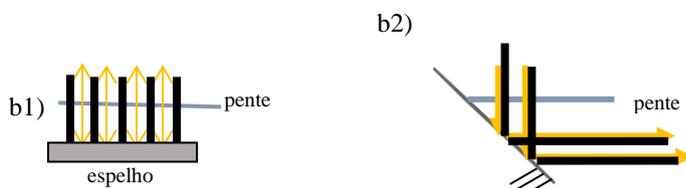
- **Etapa 2 – Depois de manipular a montagem experimental**

- a) O que seu grupo notou em cada caso? Houve reflexão nos dois momentos?

A resposta correta seria: sim, houve reflexão nos dois casos referentes a Etapa 1.

- b) Represente graficamente o fenômeno observado.

Respostas corretas: b1 – luz e pente diante o espelho e b2 – luz e pente obliquamente ao espelho.



Exemplo deste caso: Figura 1.9.

O esperado é que o estudante perceba que a superfície espelhada rebate a luz de volta ao meio de propagação. E que esta reflexão obedece a uma simetria, o raio incidente forma um ângulo com a normal e o raio refletido forma o mesmo ângulo (lei da reflexão). De acordo com o ângulo incidente se obtêm infinitos raios refletidos, ou o ângulo refletido varia de acordo com o incidente até o ponto em que não reflete mais, isso numa incidência a 180°.

- c) Mudou alguma coisa em sua percepção após a observação?

Comparação entre a resposta dada na Etapa 1 e o item a) e b) da Etapa 2.

- d) O que podemos aferir (verificar) sobre os raios de luz quanto à sua propagação?

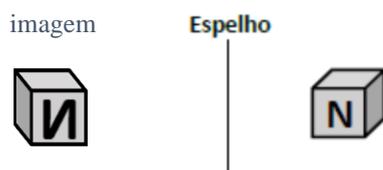
Espera-se que responda que o raio de luz ao chocar-se com um obstáculo, muda de direção.

- e) A imagem formada é direita ou invertida?

Invertida, pois se sobrepor uma a outra ficam assimétricas.

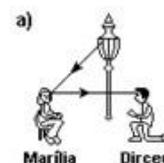
- **Etapa 3 – Atividades concluintes: por meio de pesquisas no material didático e internet.**

- a) Determine geometricamente as imagens formadas pelo espelho:



b) (UFMG) Marília e Dirceu estão em uma praça iluminada por uma única lâmpada. Assinale a alternativa em que estão CORRETAMENTE representados os feixes de luz que permitem a Dirceu ver Marília.

Resposta: A luz incide em Marília que a reflete até os olhos de Dirceu.



## **2.2.4 – Aula 04 – Refração da Luz**

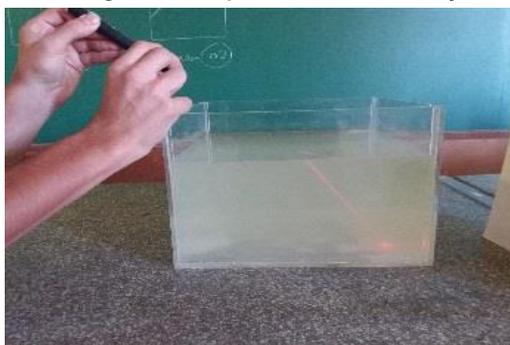
A refração da luz é um fenômeno observado quando ocorre a passagem da luz entre meios homogêneos. Sendo que, quando os meios possuem refrefrências diferentes o raio de luz muda de direção em relação à normal na superfície que os separa, fato esse descoberto por Snell e Descartes em 1921. Assunto esse detalhado na seção A.3.2.

Nesta aula, apresenta-se o aparato experimental utilizado sobre a incidência de luz de um *laser* em uma caixa transparente com água contendo pó de refresco artificial dissolvido no mesmo. O objetivo é explorar o aparato observando o comportamento da luz ao atravessar dois meios com índices de refração diferentes.

### **2.2.4.1 - Roteiro de Aplicação Nº 04 – Refração – Desvio do Raio de Luz**

Este aparato pode ser confeccionado com placas de vidro coladas com cola de silicone, obtendo como resultado final uma cuba, ou adquirir um aquário já pronto, ou uma cuba de acrílico, ou plástico transparente. A água foi tingida com um pó de refresco para melhor visualizar o feixe de luz provinda de uma caneta *laser*. Conforme ilustrado na Figura 2.4. No Capítulo 1 apresentam-se no roteiro do experimento 04, em detalhes, os materiais utilizados, a montagem experimental, bem como o procedimento experimental.

**Figura 2.4** - Fotografia da montagem do experimento de refração.



**Fonte:** arquivo do autor.

Nesta aula, as etapas aplicadas foram as 4, sendo que na Etapa 1 abordaram-se 2 questões de conhecimento prévio do que poderia ocorrer somente observando o aparato, na Etapa 2 três questões específicas da realização do experimento, na Etapa 3 foram 4 questões, sendo uma envolvendo cálculo, podendo ser respondida por meio de pesquisa no material didático (livro) e internet, e por fim a Etapa 4 uma questão com a proposta de buscar um outro experimento alternativo ao realizado na sala para explorar os mesmos fenômenos.

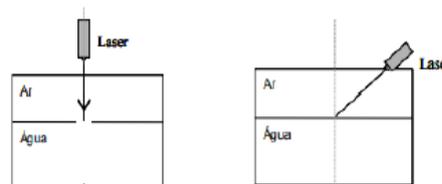
Seguem as questões<sup>16</sup> de cada etapa.

• **Etapa 1 – Apresentando o aparato: “Incidência de luz de um laser num aquário” sem ligar o laser para explorar os conhecimentos prévios dos alunos.**

Qual a sua opinião em relação as questões a) e b):

- a) O que acontecerá com a luz quando incidir no aquário?
- b) Analisando duas situações, como mostra a Figura A, determine a propagação do raio de luz.

Figura A: Desenho esquemático representando um caneta laser apontando o seu feixe de luz em uma caixa transparente com água.



Fonte: Adaptado da referência (ROBERTO, 2009).

• **Etapa 2 – Depois de manipular o aparato**

- a) Faça um desenho representando o fenômeno observado.
- b) Por que a luz muda de direção ao entrar no aquário? Esse mesmo efeito aconteceria em outros meios, como o vidro, por exemplo? Justifique.
- c) Pensando no comportamento da luz, como esse fenômeno pode ser explicado?

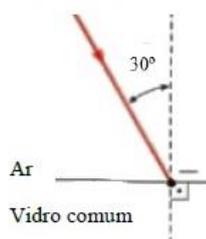
• **Etapa 3 – Atividades concluintes: por meio de pesquisas no material didático e internet.**

- a) Qual o índice de refração da água? E do ar?
- b) O que é o fenômeno “refração da luz”?
- c) O que são meios refringentes?
- d) Sabe-se que, para o vidro comum o índice de refração a cor violeta é  $\frac{39}{20}$  e o da cor vermelha é  $\frac{25}{20}$ . A Figura B representa um feixe de luz branca incidindo no dióptro plano

<sup>16</sup> Adaptado da referência (ROBERTO, 2009).

formado entre o ar e o vidro comum. Determine com os dados da Tabela Z, os ângulos de refração de um raio de luz da radiação vermelha e violeta utilizando a Lei de Snell.

Figura B: Desenho esquemático representando um feixe de luz branca incidindo no dioptro plano formado entre o ar e o vidro comum.



Seno	Ângulo
0,20	11,5°
0,25	14,5°
0,30	17,5°
0,35	20,5°
0,40	23,5°
0,45	26,5°

Tabela Z: Dados de valores seno e seus respectivos ângulos.

• **Etapa 4 – Conclusão da aplicação do roteiro**

- a) Depois de conhecer as características da refração da luz: demonstre este efeito de outra forma.

**Nota:** o professor propõe uma pesquisa na *internet* em busca de outras maneiras de representar o fenômeno, como o experimento com uma moeda em uma xícara com: água, óleo ou vinagre, para observar a diferença de cada meio.

**Sugestão:** após os debates e discussão dos grupos, deverá ser encaminhado, caso o professor considere necessário, uma busca no material didático e resoluções das atividades nele proposto. Espera-se que o educando seja capaz de compreender o fenômeno da refração do raio de luz ao transpor meios distintos.

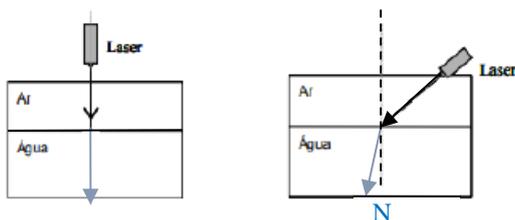
**2.2.4.2 – Gabarito nº 04 – Questionários Aula 04**

- **Etapa 1 – Apresentando o aparato: “Incidência de luz de um laser num aquário” sem ligar o laser para explorar os conhecimentos prévios dos alunos.**

Qual a sua opinião em relação as questões a) e b):

- a) O que acontecerá com a luz quando incidir no aquário? *Opinião pessoal.*  
 b) Analisando duas situações, como mostra a Figura A, determine a propagação do raio de luz.

Figura A: Desenho esquemático representando uma caneta laser apontando o seu feixe de luz em uma caixa transparente com água.



Opinião pessoal, mas as respostas corretas são, indicados em azul na Figura A:

- (a) A luz passa direto quando incidido perpendicular a superfície da água,
- (b) quando incidido obliquamente se aproxima da normal (N).

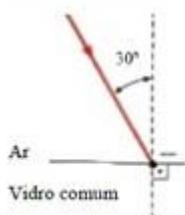
• Etapa 2 – Depois de manipular o aparato

- a) Faça um desenho representando o fenômeno observado. Respondido no item b da Etapa 1, Figura A e as equivalentes são Figuras A.20 (a) e (c).
- b) Por que a luz muda de direção ao entrar no aquário? Esse mesmo efeito aconteceria em outros meios, como o vidro, por exemplo? Justifique. Espera-se que o estudante relacione ao fenômeno da **refração**. Compreenda que ocorre em diferentes meios e explique que o vidro e o ar possuem índice de refração diferente, essa diferença de refração produz o mesmo efeito.
- c) Pensando no comportamento da luz, como esse fenômeno pode ser explicado? Espera-se que o estudante compreenda o Princípio da Propagação Retilínea da luz, compreenda o comportamento óptico quando a luz passa por meios distintos mudando sua direção. Considerando ainda, a alteração da velocidade da luz ( $v$ ) pelos meios possuírem refrações diferentes, o que pode ser visto pela Equação (A.5).

• Etapa 3 – Atividades concluintes, por meio de pesquisas no material didático e internet.

- a) Qual o índice de refração da água? E do ar? O índice de refração da água  $n_{\text{água}} = 1,33$ ; e a do ar  $n_{\text{ar}} = 1$ .
- b) O que é o fenômeno “refração da luz”? É um fenômeno óptico em que ocorre a variação de sua velocidade, para o observador, ao passar de um meio material óptico para outro.
- c) O que são meios refringentes? É uma propriedade óptica do meio material que informa o grau de dificuldade à passagem da luz.
- d) Sabe-se que, para o vidro comum o índice de refração na cor violeta é  $\frac{39}{20}$  e o da cor vermelha é  $\frac{25}{20}$ . A Figura B representa um feixe de luz branca incidindo no dioptra plano formado entre o ar e o vidro comum. Determine com os dados da Tabela Z, os ângulos de refração de um raio de luz da radiação vermelha e violeta utilizando a Lei de Snell.

Figura B: Desenho esquemático representando um feixe de luz branca incidindo no dioptra plano formado entre o ar e o vidro comum.



Seno	Ângulo
0.20	11,5°
0.25	14,5°
0.30	17,5°
0.35	20,5°
0.40	23,5°
0.45	26,5°

Tabela Z: Dados de valores seno e seus respectivos ângulos.

A Lei de Snell é a Eq. (A.7),  $\theta_1 = 30^\circ$ , e  $\text{sen } 30^\circ = 0,5$ , o índice de refração do ar  $n_{\text{ar}} = 1$ .

Para o vidro na cor violeta é  $n_2 = \frac{39}{20}$ . Substituindo estas informações na Eq. (A.7):  
 $1 (\text{sen } 30^\circ) = \left(\frac{39}{20}\right) \text{sen } \theta_2$ .

$$\left(\frac{1}{2}\right) \left(\frac{20}{39}\right) = \text{sen } \theta_2 \Rightarrow \frac{10}{39} = \text{sen } \theta_2; \theta_2 = 14,5^\circ.$$

Para o vidro na cor vermelha é  $n_2 = \frac{25}{20}$ . Substituindo estas informações na Eq. (A.7):  
 $1 (\text{sen } 30^\circ) = \left(\frac{25}{20}\right) \text{sen } \theta_2$ .

- **Etapa 4 – Conclusão da aplicação do roteiro**

a) Depois de conhecer as características da refração da luz: demonstre este efeito de outra forma.

Exemplos de aplicação: Experimento da moeda com a xícara ou copo opaco, como o disponível em: <<https://educador.brasilecola.uol.com.br/estrategias-ensino/verificando-refracao-luz.htm>> (publicado por Domiciano Marques), ou a do lápis ou canudo quebrado, como o disponível em: <<http://portaldoprofessor.mec.gov.br/fichaTecnicaAula.html?aula=1766>> (Portal do Professor/MEC).

## **2.2.5 – Aula 05 - Espelhos Planos**

Juntar dois espelhos com uma fita adesiva de modo que uma parte fique fixa e a outra móvel, a fim de variar o ângulo entre os espelhos. Após diversas observações os estudantes devem compreender que o número de imagens formadas depende do ângulo  $\alpha$  entre os dois espelhos, e pode ser obtida por intermédio da Equação (A.1).

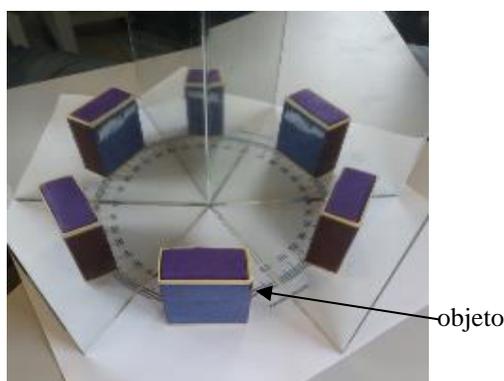
Nesta aula, apresenta-se o aparato sobre associação de espelhos planos, o roteiro de aplicação e o gabarito das questões das etapas de aplicação. Objetivo: Trabalhar com formação de imagens em espelhos planos, variando o ângulo entre dois espelhos.

### **2.2.5.1 Roteiro de Aplicação N° 03 – Associação de Espelhos Planos**

Este experimento utiliza-se um papel como base que possui o desenho de um transferidor, dois espelhos planos unidos na lateral e um objeto, no caso uma caixa de fósforos, conforme ilustrado na Figura 2.5.

No Capítulo 1, estão apresentados no roteiro do experimento 05, os materiais utilizados, a montagem experimental, e o procedimento experimental, detalhados.

**Figura 2.5** - Fotografia da montagem experimental da associação de espelhos confeccionado pelo docente e apresentado aos estudantes.



Fonte: arquivo do autor.

Na sequência segue as questões<sup>17</sup> a serem abordadas em cada umas das quatro etapas. Sendo que na Etapa 1 consta de 3 questões, a Etapa 2 de 3 questões, a Etapa 3 de 5 questões (sendo 2 objetivas) e a Etapa 4 de 1 questão, com a sugestão da construção de um Periscópio.

- **Etapa 1 – Apresentando o aparato e questionar o grupo**

Qual a sua opinião:

- a) O que acontecerá se um objeto estiver posicionado entre dois espelhos paralelo? Onde aparecerá a sua imagem?
- b) Colocando dois espelhos próximos é possível determinar se aparecerá mais de uma imagem? De que forma isso seria possível?
- c) Qual a sua percepção sobre as imagens formadas em um espelho? Descreva como é possível este fenômeno.

- **Etapa 2 – Depois de manipular o aparato - ver procedimento experimental do roteiro do experimento 05, Capítulo 1.**

A Tabela A se refere às questões: a, b e c.

Tabela A - Valores de ângulos e imagens

Ângulo	Imagens
30°	
45°	
60°	
90°	
120°	
180°	

- a) Conte quantas imagens se forma em cada ângulo e preencha a Tabela A.
- b) Analise os resultados e deduza uma equação de formação de imagens.
- c) Qual a explicação das imagens formadas para os espelhos em paralelos.

- **Etapa 3 – Atividades concluintes: por meio de pesquisas no material didático e internet**

- 1) Imagine um vaso com flores diante de um espelho plano vertical que pode se mover. O que aconteceria com a imagem do vaso caso o espelho fosse afastado ou aproximado do vaso?

---

<sup>17</sup> Baseado na referência (ROBERTO, 2009).

- 2) Se o espelho, inicialmente a 3,5 m do vaso, é afastado a 2 m do mesmo, que distância separa a primeira imagem da segunda?
- 3) Pedro deseja observar uma torre inteira, de 101m de altura, através de um espelho vertical, plano de tamanho 1m, situado a 50 m dela. Qual deve ser a distância mínima do espelho à qual Pedro deverá ficar?
- a) ( ) 20cm
  - b) ( ) 30cm
  - c) ( ) 40cm
  - d) ( ) 50cm
  - e) ( ) 60cm
- 4) Se você estiver se aproximando perpendicularmente de uma parede espelhada a uma velocidade de 2,5m/s, a sua imagem:
- a) ( ) aumenta de tamanho.
  - b) ( ) diminui de tamanho.
  - c) ( ) afasta de você à velocidade de 2,5 m/s.
  - d) ( ) aproxima-se de você à velocidade de 2,5 m/s.
  - e) ( ) aproxima-se de você à velocidade de 5 m/s.
- 5) Um espelho plano sofre uma rotação de  $20^\circ$  em relação a um eixo que está contido em seu próprio plano. Qual é o ângulo de rotação dos raios refletidos nesse ângulo de giro do espelho?

• **Etapa 4 – Conclusão da aplicação do roteiro**

- a) Depois de conhecer as características do espelho, construa algum aparato que possa descrever as leis de reflexão. (sugestão: Construção de um periscópio).

**Sugestão:** Após debates e discussões dos grupos, deverá ser encaminhado, caso o professor considere necessário, uma busca no material didático e resoluções das atividades nele propostas. Espera-se que o educando seja capaz de compreender o fenômeno de reflexão de imagens em espelhos planos.

**2.2.5.2 Gabarito nº 05 – Questionários Aula 06**

• **Etapa 1 – Apresentando o aparato e questionar o grupo**

Qual a sua opinião:

- a) O que acontecerá se um objeto estiver posicionado entre dois espelhos paralelo? Onde aparecerá a sua imagem? Resposta pessoal. O correto seria, a imagem aparecerá “atrás” do espelho.

- b) Colocando dois espelhos próximos, é possível determinar se aparecerá mais de uma imagem? De que forma isso seria possível? Resposta pessoal. A resposta adequada é: sim, colocando um objeto entre os espelhos.
- c) Qual a sua percepção sobre as imagens formadas em um espelho? Descreva como é possível este fenômeno. O aluno responderá de acordo com seus conhecimentos prévios, e a resposta adequada é que seja virtual (“atrás” do espelho) e de mesmo tamanho.

• **Etapa 2 – Depois de manipular o aparato**

A Tabela A se refere às questões: a, b e c.

Tabela A - Valores de ângulos e imagens

Ângulo	Nº Imagens
30°	11
45°	7
60°	5
90°	3
120°	2
180°	1

- a) Conte quantas imagens se forma em cada ângulo e preencha a Tabela A.

Exemplo das Figuras 1.11.

- b) Analise os resultados e deduza uma equação de formação de imagens.

Posicionando o objeto na linha do plano bissetor entre os dois espelhos: se os espelhos estão a 180°, N=1; Como o maior ângulo entre os espelhos é de 360°, se dividirmos o máximo por 180°, o valor será igual a 2, mas como o número formado de imagem é igual a 1, temos que subtrair 1 para que N seja igual a 1, no centro, metade para cada espelho;. Tal que:  $N = \frac{360^\circ}{\alpha} - 1$  em que  $\alpha$  é o ângulo formado entre os espelhos. Testando: se os espelhos estão a  $\alpha = 360^\circ$ , N=0 e formará não forma imagem, pois os espelhos estão com os lados espelhados opostos um ao outro., Esta é a Equação (A.1).

- c) Qual a explicação das imagens formadas para os espelhos em paralelos.

Nos espelhos em paralelo ocorre a formação de infinitas imagens devido ao efeito da reflexão. Exemplo Figura 1.12.

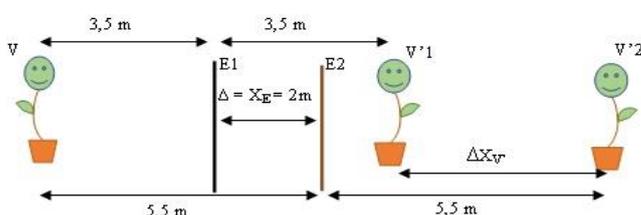
• **Etapa 3 – Atividades concluintes: por meio de pesquisas no material didático e internet**

- a) Imagine um vaso com flores diante de um espelho plano vertical que pode se mover. O que acontece com a imagem do vaso caso o espelho fosse afastado ou aproximado do vaso?

Este se afasta ou se aproxima do vaso acompanhando o movimento do objeto.

- b) Se o espelho, inicialmente a 3,5 m do vaso, é afastado a 2 m do mesmo, que distância separa a primeira imagem da segunda?

Figura R.3.1 - Construindo-se a Figura ilustrativa, onde E1 e E2 representa a ilustração das posições do espelho, V é a ilustração do vaso e V'1 e V'2 são as posições das imagens dos vasos.



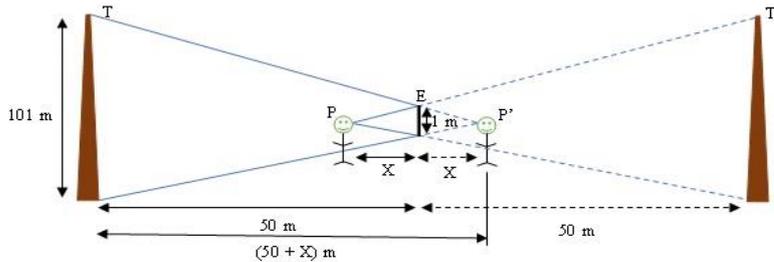
Sabendo que a imagem V'1 situa-se na mesma distância do espelho E1 que o objeto V, afastando o espelho para a direita na posição E2 obtém-se a imagem V'2 em uma nova posição. Logo a distância  $\Delta X_{V'}$  entre as posições V'2 e V'1 da imagem é 4 metros como ilustrado na Figura R.3.1. Temos:

$$\Delta X_{V'} = 2 X_E = 2 (2 \text{ m}) = 4 \text{ m}$$

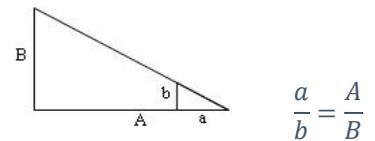
- c) Pedro deseja observar uma torre inteira, de 101m de altura, por meio de um espelho vertical, plano de tamanho 1m, situado a 50 m dela. Qual deve ser a distância mínima do espelho à qual Pedro deverá ficar?

Sabendo que a torre possui 101 m de altura e está a 50 m de distância do espelho. Podemos calcular o valor de X por meio de semelhança de triângulo. A Figura R.3.2 ilustra essa situação: O observador (P) vê por um espelho plano a uma distância X dele, uma torre que está a 50 m atrás do observador. De forma que, como ele consegue ver a torre inteira, isto significa que o mesmo vê a imagem a 50 m atrás do espelho. E sua imagem está a X do espelho.

**Figura R.3.2** - Figura ilustrativa, em que T é a altura da torre, T' é a altura da imagem da torre, E ilustra o espelho, P o observador e P' a imagem



Por semelhança de triângulo:



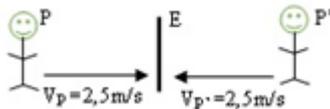
No caso:  $EP'X = TP' (50 + X)$

$$\frac{X}{1} = \frac{50+X}{101} \Rightarrow 101X = 1(50+X) \Rightarrow (100-1)X = 50 \Rightarrow X = 0,5 \text{ m} = 50 \text{ cm. Logo, a resposta é o item d).}$$

- d) Se você estiver se aproximando perpendicularmente de uma parede espelhada a uma velocidade de 2,5m/s, a sua imagem. **Resposta:** Devido ao movimento, imagem P' e objeto P, estão se aproximando à mesma velocidade 2,5m/s da parede espelhada Observando a Figura R.3.3, temos:

**Figura R.3.3** - Desenho ilustrativo do observador P aproximando-se do espelho E.

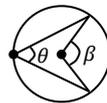
$$V_m = V_P + V_{P'} = 2,5 + 2,5 = 5\text{m/s.}$$



Portanto a resposta é o item: e) aproxima-se de você com velocidade de 5 m/s

- e) Um espelho plano sofre uma rotação de  $20^\circ$  em relação a um eixo que está contido em seu próprio plano. Qual é o ângulo de rotação dos raios refletidos nesse ângulo de giro do espelho?

A rotação de um espelho plano tem como exemplo quando se abre a porta do armário de banheiro. E, é obtido pelo teorema do ângulo inscrito, de que a medida de um ângulo inscrito ( $\theta$ ) é a metade do ângulo central ( $\beta$ ):  $\theta = \frac{\beta}{2}$ , ou que:  $\beta = 2\theta$ .



No caso da questão, o ângulo de rotação o ângulo inscrito é  $\alpha = 20^\circ$  e o ângulo central:

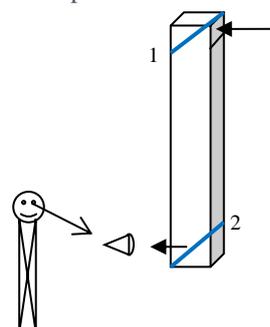
$$\Delta\alpha = 2\alpha = 2(20^\circ) = 40^\circ$$

#### • Etapa 4 – Conclusão da aplicação do roteiro

- a) Depois de conhecer as características do espelho, construa algum aparato que possa descrever as leis de reflexão. (sugestão: Construção de um periscópio).

O periscópio é um instrumento muito utilizado em submarinos, para observar de dentro o que ocorre fora, sem necessitar abrir a escotilha. Esse é constituído de dois espelhos planos, posicionados na diagonal em um tubo (indicados na cor azul na Figura R.3.4). Este pode ser confeccionado com uma caixa de papelão, por exemplo, de pasta dental. Fazendo duas pequenas aberturas em posições opostas, as posições dos espelhos. A superior capta a imagem, e reflete do espelho 1 para o espelho 2 e este para o olho do observador. (PERUZZO, 2013, p.243).

Figura R 3.4- Desenho ilustrativo de um periscópio.

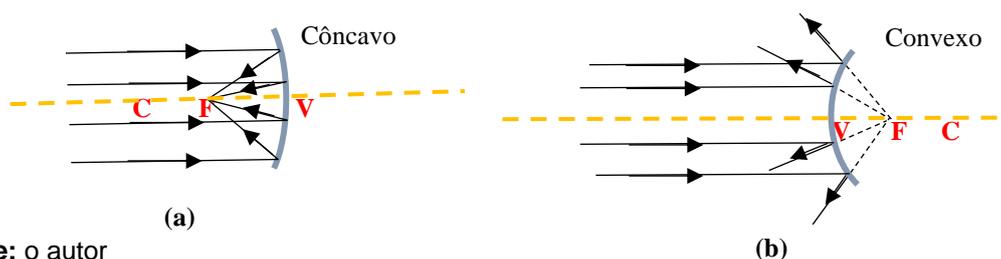


## 2.2.6 – Aula 06 – Espelhos Esféricos

A superfície refletora utilizada será uma concha de aço inox, que será utilizada como um espelho esférico, formadas por superfícies refletoras curva semelhante a uma casca. Podem ser côncavos ou convexos e seus principais elementos são: vértice (V), foco (F) e centro da curvatura (C) como exemplificado na Figura 2.4.

Incidindo um feixe de luz paralelo ao eixo principal em um espelho côncavo, percebe-se que os raios de luz convergem num único ponto denominado foco principal real. Incidindo os mesmos raios de luz num espelho convexo, nota-se que seus raios divergem, porém, seus prolongamentos possuem um único ponto em comum chamado de foco principal virtual como mostra a Figura 2.6.

**Figura 2.6** - Desenho esquemático simulando os raios paralelos de luz incidindo sobre superfícies esféricas.



Fonte: o autor

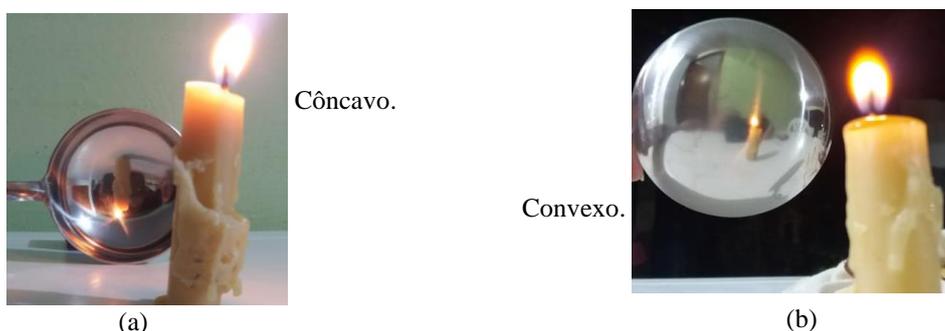
Nesta aula, apresenta-se o aparato experimental envolvendo o experimento com espelhos esféricos, e o roteiro de aplicação. O objetivo é analisar a formação e as características de imagens em espelhos côncavos e convexos.

Os materiais utilizados para essa montagem experimental é uma concha de superfície polida tanto a interna como a externa, representando os espelhos, convexo e côncavo, respectivamente e uma vela acesa é o objeto.

### 2.2.6.1 Roteiro de Aplicação N° 06 – Superfícies Refletoras Esféricas

Primeiramente posicionar a concha na lateral e posicionar a vela a uma distância em que a imagem fique nítida (ir movimentando a vela) – Ilustrado na Figura 1.15, e se possa observar como ela é refletida (Figuras 2.7). No Capítulo 1, estão apresentados no roteiro do experimento 06, os materiais utilizados em detalhes e a montagem experimental, contendo também o procedimento experimental.

**Figura 2.7** – Imagens fotográficas (a) Imagem formada em um espelho côncavo (lado interno da concha) e em (b) no espelho convexo (lado externo da concha).



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Seguindo com o procedimento das etapas e questões<sup>18</sup>, na Etapa 1 foram propostas duas questões para saber sobre o conhecimento prévio dos alunos ao ver o aparato experimental, na Etapa 2 quatro questões envolvendo o observado no experimento, na Etapa 3 cinco questões, sendo as duas últimas fechando esta etapa com o desenho geométrico do comportamento da luz e formação da imagem.

- **Etapa 1 – Apresentar o aparato e questionar o grupo**

Qual a sua opinião para Luz e espelho esférico:

Representar os raios de luz em cada caso, e o que veremos desta associação:

- a) Diante do espelho côncavo?
- b) Diante do espelho convexo?

- **Etapa 2 – Depois de manipular o aparato**

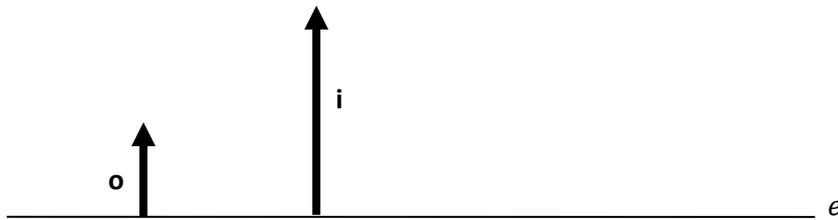
- a) O que seu grupo notou em cada caso?
- b) Represente graficamente o fenômeno observado:
- c) Mudou sua percepção após a observação?
- d) O que podemos aferir sobre os raios de luz quanto a sua reflexão?

<sup>18</sup> Baseado na referência (ROBERTO, 2009).

• **Etapa 3 – Atividades concluintes: por meio de pesquisas no material didático e internet**

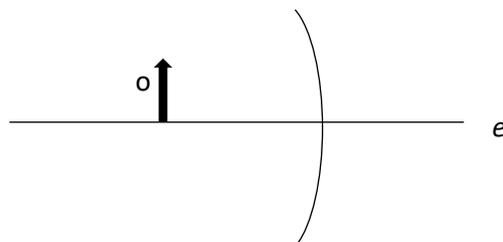
- 1) Pesquise sobre o uso dos espelhos esféricos por Arquimedes, em especial durante um ataque sofrido na cidade de Siracusa pela esquadra romana:
- 2) Ainda sobre o fato histórico citado na questão anterior, o que aconteceria se o espelho usado fosse convexo?
- 3) Pesquisando no livro didático adotado pelo colégio, demonstre geometricamente o raio de incidência e o refletido representando as quatro propriedades de um espelho esférico.
- 4) A Figura A representa um objeto  $o$  e a sua respectiva imagem  $i$  conjugados por um espelho esférico de eixo principal  $e$ , utilizar para responder as questões a) e b):

**Figura A** - Desenho esquemático ilustrando um objeto ( $o$ ) e sua imagem ( $i$ ) sobre o eixo principal ( $e$ ).



- a) Determine a natureza do espelho.
  - b) Obtenha graficamente, os seguintes elementos geométricos do espelho: foco, vértice e centro de curvatura.
- 5) Na Figura B, tem-se um objeto  $o$  no eixo principal e de um espelho côncavo. Determine graficamente sua imagem.

**Figura B** - Desenho esquemático ilustrando um objeto e um espelho côncavo.



**Sugestão:** Após debates e discussão dos grupos, deverá ser encaminhado, caso o professor considere necessário, uma busca no material didático e resoluções das atividades nele propostas. Espera-se que o educando seja capaz de compreender o fenômeno da reflexão das imagens nos espelhos esféricos.

## 2.2.6.2 – Gabarito nº 07 – Questionários Aula 07

- **Etapa 1 – Apresentar o aparato e questionar o grupo**

Qual a sua opinião para Luz e espelho esférico em relação a representar os raios de luz em cada caso, e o que veremos desta associação:

a) Diante do espelho côncavo? b) Diante do espelho convexo? As respostas esperadas são as apresentadas na Figura 2.6, para o raio de luz incidindo na horizontal e paralelas entre si.

- **Etapa 2 – Depois de manipular o aparato**

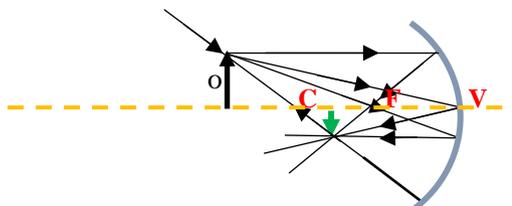
- O que seu grupo notou em cada caso? Resposta da observação.
- Represente graficamente o fenômeno observado. Gráficos análogos aos da Figura 2.6.
- Mudou sua percepção após a observação? Comparação das respostas dadas na Etapa 1 e Etapa 2.
- O que podemos inferir sobre os raios de luz quanto a sua reflexão?

Espera-se que o estudante compreenda que a luz retorna, propagando-se no mesmo meio de origem. Convergingo, divergingo ou paralelos entre si de acordo com a superfície refletora.

- **Etapa 3 – Atividades concluintes: por meio de pesquisas no material didático e internet**

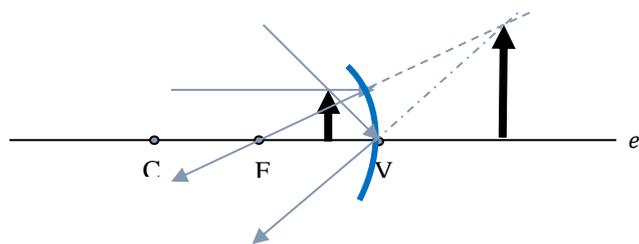
- Pesquise sobre o uso dos espelhos esféricos por Arquimedes, em especial durante um ataque sofrido na cidade de Siracusa pela esquadra romana. Por meio de pesquisas em periódicos e textos históricos, espera-se que o estudante mencione que Arquimedes usou espelhos esféricos para refletir raios de luz com a finalidade de queimar os navios inimigos.
- Ainda sobre o fato histórico citado na questão anterior, o que aconteceria se o espelho usado fosse convexo? Espera-se que o estudante responda que espelhos convexos espalhariam os raios de luz refletidos.
- Pesquisando no livro didático adotado pelo colégio, demonstre geometricamente o raio de incidência e o refletido representando as quatro propriedades de um espelho esférico. As quatro propriedades da reflexão de um espelhos esféricos são: raio de luz paralelo ao eixo principal reflete na direção do foco; raio de luz incidente na direção do foco, reflete paralelamente ao eixo principal; raio de luz incidindo na direção do centro óptico reflete sobre si mesmo e raio incidente na direção do vértice reflete simetricamente., e estão geometricamente representadas na Figura R.4.1.

**Figura R.4.1-** Desenho esquemático representando raio de luz incidente e refletido em um espelho esférico côncavo.



- A Figura A representa um objeto  $o$  e a sua respectiva imagem  $i$  conjugados por um espelho esférico de eixo principal  $e$ , utilizar para responder as questões a) e b):

**Figura A** - Desenho esquemático ilustrando um objeto (*o*) e sua imagem (*i*) sobre o eixo principal (*e*).

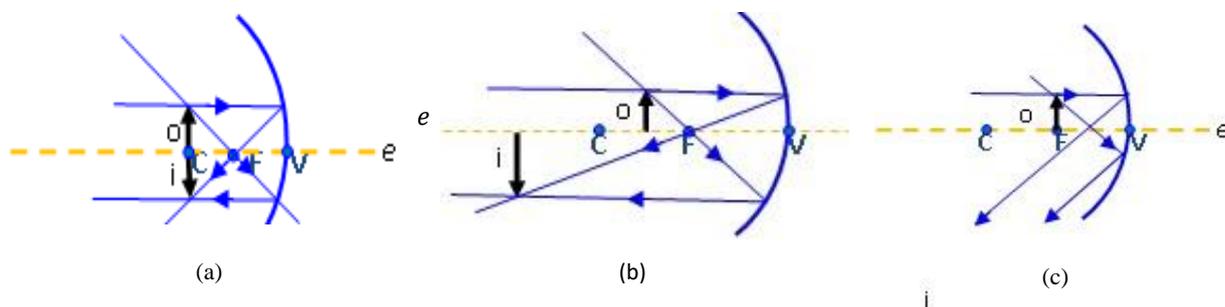


a) Determine a natureza do espelho. Espelho Côncavo, pois o espelho em que a imagem é maior que o objeto, direita, é o côncavo, em que o objeto está posicionado entre o vértice (V) e o foco (F), conforme foi ilustrado na Figura A, em cor azul.

b) Obtenha graficamente, os seguintes elementos geométricos do espelho: foco, vértice e centro de curvatura. Como as características da posição do objeto e imagem representados na Figura A, e sabendo que V é o vértice do espelho, que F o foco e que o objeto está posicionado entre o vértice e o foco, traçando o raio de luz e sua prolongação entre a altura do objeto e da imagem que passa pelo foco, a sua posição é localizada. E sabendo que o raio de curvatura é duas vezes a distância focal (*f*), localiza-se o ponto do centro de curvatura. O raio que incide do objeto incidindo no vértice reflete com um ângulo igual ao de incidência, e prolongando o mesmo em direção ao objeto, têm-se os raios e suas prolongações (em pontilhado) traçadas na Figura A.

c) Na Figura B, tem-se um objeto *o* no eixo principal *e* de um espelho côncavo. Determine graficamente sua imagem. Lembrando que a imagem vai depender da posição do objeto em relação a C, F, e V, além de seu tamanho e se direita ou invertida. Para a imagem direita a única opção é a apresentada na Figura A. No caso de imagens invertidas, além da geometria apresentada na Figura R.4.1 (o objeto antes de C, e a imagem é menor e posicionada entre F e V), há outras 2 possibilidades, apresentadas na Figura R.4.2: (a) sobre o centro de curvatura a imagem terá o mesmo tamanho que o objeto; (b) o objeto posicionado entre o centro de curvatura e o foco, a imagem será maior que o objeto e posicionada antes de C; e uma última opção (c) é o objeto posicionado sobre F e a imagem se formará no infinito;

**Figura R.4.2** - Desenho esquemático representando uma imagem formada por um objeto posicionado: (a) sobre C; (b) entre o centro óptico (C) e foco (F); (c) sobre o foco (F), em um espelho esférico côncavo.



### **2.2.7 – Aula 07 – Lentes Esféricas**

As lentes esféricas caracterizam-se por apresentarem bordas espessas ou finas. São úteis comercialmente em óculos para a correção de anomalias visuais, máquinas fotográficas, telescópio, filmadoras, binóculos. São convergentes quando direcionam a luz para um único

ponto, como o caso de óculos e lupas usados para corrigir problemas visuais como a hipermetropia. Divergentes, quando necessita expandir um feixe de luz ou expandindo o campo visual, cobrir um grande ambiente, como o caso dos olhos mágicos instalados em portas de lojas ou supermercados ou lentes de óculos para correção de miopia.

No Quadro A.26 estão apresentadas desenhos ilustrativos do formato de lentes esféricas côncavas e convexas.

Assim como nos espelhos esféricos, podemos classificar as lentes como convexas (bordas delgadas) ou côncavas (bordas espessas).

Incidindo em uma lente um feixe de luz paralelo ao seu eixo principal, de acordo com sua refração e o tipo da lente, podemos observar raios convergentes ou divergentes. A teoria sobre lentes está apresentada na seção A.4.

Nesta aula, apresenta-se o aparato experimental sobre lentes esféricas e o roteiro de aplicação. O objetivo deste aparato experimental é compreender a formação de imagens em lentes esféricas, como funciona uma lente de aumento, e a função das lentes de correção visual.

### 2.2.7.1 Roteiro de Aplicação Nº 06 - Lente de Aumento

Esta lente foi confeccionada pelo autor com partes da garrafa pet transparente cristal, cola epóxi e água no seu interior (Figura 2.8). No Capítulo 1, estão apresentados no roteiro do experimento 07, os materiais utilizados em detalhes e a montagem experimental, contendo também o procedimento experimental.

**Figura 2.8** – Foto da lente esférica biconvexa confeccionada pelo autor com garrafa *pet*.



**Fonte:** arquivos do autor, adaptado da referência manual do mundo, <  
<https://www.youtube.com/watch?v=iGgO82eBsAI>>.

Esta aula abrange 3 etapas para abordagem da montagem experimental no auxílio da compreensão do conteúdo de óptica geométrica. A Etapa 1 foi direcionada ao que ocorre por

meio do manuseio da lente e auxílio da luz laser, trabalhando com 3 questões, sobre lentes de aumento, e o funcionamento de lente esférica convergente e divergente e o que ocorre com a incidência de luz sobre a lente. A Etapa 2 constituiu de 4 questões sendo a última com definições diretas, com o auxílio de pesquisa, e a última etapa a sugestão de reproduzirem uma lente com o uso de uma lâmpada transparente com água.

Seguem as questões<sup>19</sup> trabalhadas nas 3 etapas:

- **Etapa 1 – Apresentando a lente pronta e questionar o grupo**

a) Por que objetos vistos através de uma lente têm sua forma e tamanho aumentado?

b) Discuta com seu grupo e elabore uma explicação para justificar o fenômeno observado através de uma lente:

b<sub>1</sub>) Convergente

b<sub>2</sub>) Divergente

c) Represente graficamente o comportamento do raio de luz ao incidir em uma lente: convergente e divergente.

- **Etapa 2 – Atividades concluintes: por meio de pesquisas no material didático e internet**

1) Pesquise no livro didático quais são os tipos de lentes esféricas.

2) Diferencie lentes convergentes de divergentes?

3) Defina os conceitos:

a) foco imagem real

b) foco imagem virtual

c) foco objeto real

d) foco objeto virtual

4) Uma lente convergente possui distância focal  $f$ . Um objeto  $o$  linear e transversal ao plano do mesmo colocado diante da lente sobre seu eixo principal, numa posição entre  $f$  e  $2f$ .

a) construa graficamente a imagem  $i$  formada.

b) quais as características dessa imagem?

---

<sup>19</sup> Baseado na referência (ROBERTO, 2009).

- **Etapa 3 – Conclusão da aplicação do roteiro**

Depois de conhecer as características das lentes esféricas, construa algum aparato que possa descrever este fenômeno. Por exemplo, a construção de uma lente a partir de uma lâmpada transparente e água.

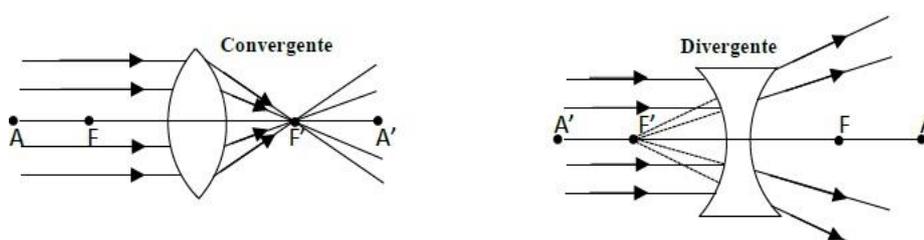
**Sugestão:** após debates e discussão dos grupos, deverá ser encaminhado, caso o professor considere necessário, uma busca no material didático e resoluções das atividades nele propostas. Espera-se que o educando seja capaz de compreender o fenômeno da formação de imagens em lentes esféricas.

### 2.2.7.2 - Gabarito nº 07 – Questionários Aula 07

- **Etapa 1 – Apresentando a lente pronta e questionar o grupo**

- 1) Por que objetos vistos através de uma lente têm sua forma e tamanho aumentado? Resposta esperada: pela lente ser biconvexa.
- 2) Discuta com seu grupo e elabore uma explicação para justificar o fenômeno observado através de uma lente:
  - a) Convergente
  - b) DivergenteResposta pessoal, mas espera-se que os estudantes compreendam o que é uma lente convergente e divergente.
- 3) Represente graficamente o comportamento do raio de luz ao incidir em uma lente: convergente e divergente. As figuras esquemáticas podem ser as apresentadas como na Figura A.27 (plano-convexa) e plano-convexa, ou de acordo com a Figura R.7.1.

Figura R.7.1- Representação de raios de luz em uma lente (a) biconvexa e (b) bicôncava;



- **Etapa 2 – Atividades concluintes: por meio de pesquisas no material didático e internet**

- 1) Pesquise no livro didático quais são os tipos de lentes esféricas. As lentes são classificadas em lentes de bordas finas: biconvexa, plano-convexa, côncavo-convexa e as lentes de bordas espessas: bicôncava, plano-côncava, convexo-côncava. As apresentadas no Quadro 02.
- 2) Diferencie lentes convergentes de divergentes? Convergentes: os raios de luz incidente paralelos ao eixo principal sofrem refração, concentrando-se num único ponto: o foco (Figura A.27 (a)) e Divergentes quando os raios de luz incidente paralelos ao eixo principal sofrem refração e se espalham (Figura A.27 (b)).
- 3) Defina os conceitos: a) foco imagem real – É o ponto de convergência dos raios emergentes, considerando uma lente convergente; b) foco imagem virtual – É ponto de prolongamento dos raios emergentes, considerando uma

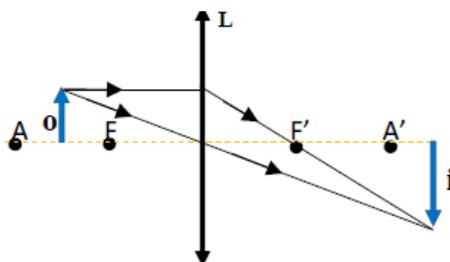
lente divergente; c) foco objeto real – É o ponto onde deve ser colocado o vértice de um feixe cônico de luz para que os raios emergentes sejam paralelos ao eixo principal considerando numa lente convergente; d) foco objeto virtual – É o ponto resultante dos feixes de luz convergem numa lente divergente;

4) Uma lente convergente possui distância focal  $f$ . Um objeto  $o$  linear e transversal ao plano do mesmo colocado diante da lente sobre seu eixo principal, numa posição entre  $f$  e  $2f$ .

a) construa graficamente a imagem  $i$  formada. b) quais as características dessa imagem?

a) Representação geométrica de um objeto  $O$  posicionado entre o ponto antiprincipal objeto  $A$  e o foco objeto  $F$ , a imagem  $i$  será: real, invertida e maior que o objeto, Figura R.7.2.

**Figura R.7.2-** Desenho esquemático ilustrando o comportamento óptico de objeto linear posicionado entre as distâncias  $f$  e  $2f$  de uma lente convergente.



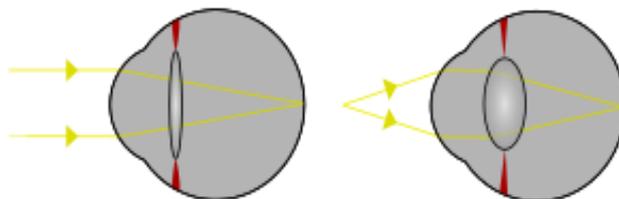
• **Etapa 3 – Conclusão da aplicação do roteiro**

Depois de conhecer as características das lentes esféricas, construa algum aparato que possa descrever este fenômeno. Por exemplo, a construção de uma lente a partir de uma lâmpada transparente e água.

**2.2.8 – Aula 08 - Olho Humano e as Anomalias da Visão**

A estrutura do globo ocular possui um formato praticamente esférico. A imagem é formada no fundo dos olhos (sobre a retina), e a forma como os olhos focam a luz está ilustrada na Figura 2.9 (a) quando a luz chega paralela e, (b) de um único ponto.

**Figura 2.9** – Figura ilustrativa de como os olhos focam a luz: (a) paralelos e de (b) um único ponto, a imagem de forma no fundo dos olhos, sobre a retina.



**Fonte:** Wikipedia\_olho: <<https://pt.wikipedia.org/wiki/Olho>> .

A imagem é normalmente: **real, invertida e menor que o objeto** e é formada sobre a retina após passar pelo cristalino que funciona como uma lente biconvexa.

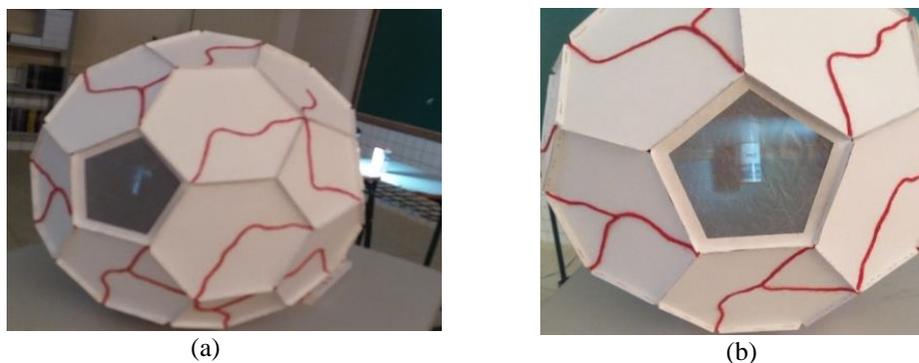
Nesta aula, apresenta-se o aparato pronto sobre o olho humano, bem como o roteiro de aplicação. O objetivo do uso deste aparato tem como objetivo principal como a imagem se

forma no olho humano e em caso de anomalias o tipo de lente utilizado. No caso somente será explorado as que utilizam lentes esféricas.

### 2.2.8.1 - Roteiro de Aplicação Nº 08 - Protótipo do Olho Humano

Este protótipo, ilustrado na Figura 2.10, foi confeccionado com papel cartão branco e verde, lente biconvexa, papel vegetal, cola e linha vermelha para os detalhes. No Capítulo 1, estão apresentados no roteiro do experimento 08, os materiais utilizados em detalhes e a montagem experimental, contendo também o procedimento experimental.

**Figura 2.10** - Imagem fotográfica do protótipo do olho humano confeccionado pelo autor.



**Fonte:** arquivo do autor.

Para aplicação do protótipo do olho, as questões utilizadas em cada etapa são as apresentadas na sequência. Sendo que na Etapa 1, utilizaram-se de dois passos, uma apresentando o protótipo e a outra para os alunos descrever a formação da imagem no mesmo. Na Etapa 2, foram propostas 3 questões abordando a função de três partes do olho: o cristalino, a pupila e a retina. Na Etapa 3, foram propostas 4 questões abrangendo a formação de imagens, acomodação visual e os tipos de anomalias. E, na Etapa 4, 3 itens são abordados, uma referente as causas das anomalias e o tipo de lente corretiva, reprodução do efeito no olho humano quanto a formação de imagem, no caso sugere-se a câmara escura, e para fechar, que os alunos façam uma entrevista baseando-se em 5 questões, com alguém da área da saúde no município.

Seguem as questões e sugestões para este último experimento:

- **Etapa 1 – Apresentando o aparato pronto**

- a) Apresentação do protótipo do olho humano (Fig. 2.10);
- b) Observação da formação de imagem no anteparo do olho.

- **Etapa 2 – Depois de observar o protótipo do olho**

- a) Discuta com seu grupo sobre a função do cristalino;
- b) Discuta com seu grupo sobre a função da pupila;
- c) Discuta com seu grupo sobre a função da retina.

• **Etapa 3 – Atividades concluintes: por meio de pesquisas no material didático e internet.**

- a) Descreva geometricamente os raios de luz na formação da imagem na retina;
- b) Como é a formação de imagens na retina?
- c) Discuta com seu grupo a definição de “acomodação visual”, “ponto próximo” e “ponto remoto”.
- d) Faça uma pesquisa bibliográfica buscando informações sobre as causas das anomalias da visão. (Miopia, Hipermetropia, Presbiopia, Astigmatismo, Estrabismo, Catarata e Daltonismo)

• **Etapa 4 – Após as explicações dos problemas visuais e correções**

- 1) Discuta em seu grupo e preencha a Tabela A.

**Tabela A** - Dados sobre algumas anomalias da visão, problemas visuais e lentes corretivas.

Doença	Problema visuais	Lentes corretiva
Miopia		
Hipermetropia		
Presbiopia		
Astigmatismo		

- 2) A partir dos conhecimentos adquiridos reproduza por meio de outro experimento o fenômeno observado. (Sugestão: Produção de uma câmara escura com caixa de papelão).
- 3) Faça uma entrevista com alguém da área da saúde sobre o tema: **SAÚDE DA VISÃO**.  
Questões para a entrevista:
  - a) Existem muitos casos de doentes visuais em nossa região?
  - b) Quais as principais causas?
  - c) Quais as principais recomendações para prevenir-se contra os problemas visuais?
  - d) Qual a importância de um acompanhamento médico desde o início do tratamento?
  - e) Quais os procedimentos ao diagnosticar um paciente com algum problema visual?
  - f) O município possui estrutura para tratar os pacientes?

**Sugestões:** insira mais questões de acordo com o que se deseja explorar.

### 2.2.8.2 – Gabarito nº07 – Questionário da Aula 08

- **Etapa 1 – Apresentando o aparato pronto**

- a) Apresentação do protótipo do olho humano (Fig. 2.10);
- b) Observação da formação de imagem no anteparo do olho.

- **Etapa 2 – Depois de observar o protótipo do olho**

- a) Discuta com seu grupo sobre a função do cristalino; Funciona como uma lente biconvexa;
- b) Discuta com seu grupo sobre a função da pupila; Funciona como um diafragma para controlar a intensidade da luz que chega aos olhos.
- c) Discuta com seu grupo sobre a função da retina. Funciona como um anteparo onde a imagem se forma.

- **Etapa 3 – Atividades concluintes: por meio de pesquisas no material didático e internet.**

- a) Descreva geometricamente os raios de luz na formação da imagem na retina; Como representados na Figura 2.10.
- b) Como é a formação de imagens na retina? Real, invertida e menor que o objeto.
- c) Discuta com seu grupo a definição de “acomodação visual”, “ponto próximo” e “ponto remoto”. Acomodação visual como o próprio sugere, é a forma como que os músculos dos olhos trabalham para que se tenha uma imagem nítida sobre a retina, sendo assim definida para a variação da distância focal da lente para se obter imagens nítidas na retina; Ponto próximo: mínima distância de visão distinta que uma pessoa pode ter; Ponto remoto: máxima distância de visão distinta que uma pessoa pode ter.
- d) Faça uma pesquisa bibliográfica buscando informações sobre as causas das anomalias da visão. (Miopia, Hipermetropia, Presbiopia, Astigmatismo, Estrabismo, Catarata e Daltonismo). **Miopia:** apresenta como defeito no olho o achatamento do globo ocular, perpendicularmente ao seu eixo óptico, o globo ocular é alongado; **Hipermetropia:** apresenta como defeito o achatamento do globo ocular, longitudinal ao seu próprio eixo, o olho é encurtado; **Presbiopia:** apresenta como defeito o endurecimento da lente do olho e por conseguinte, tem a perda da capacidade da acomodação visual; **Astigmatismo:** apresenta um defeito na córnea, com raios de curvatura irregulares, o que ocasiona uma visão manchada dos objetos; **Estrabismo:** apresenta como defeito a incapacidade de dirigir para um mesmo ponto os eixos ópticos dos olhos; **Catarata:** defeito causado pela perda de transparência da lente do olho, que se torna opaco. **Daltonismo:** defeito de causas genéticas que impede a percepção de algumas ou todas as cores.

- **Etapa 4 – Após as explicações dos problemas visuais e correções**

- 1) Discuta em seu grupo e preencha a Tabela A:

**Tabela A** - Dados sobre algumas anomalias da visão, problemas visuais e lentes corretivas.

Doença	Problema visuais	Lentes corretiva
Miopia	olho alongado – foco após a (atrás da) retina	Lentes esféricas divergentes - bicôncava
Hipermetropia	olho encurtado – foco antes (na frente) da retina	Lentes esféricas convergentes - biconvexa
Presbiopia	Cristalino endurecido – imagem se forma após a (atrás da) retina.	Lentes convergentes como na hipermetropia
Astigmatismo	Córnea ou lente não simetricamente curva – imagem desfocada – não nítida (borrada)	Lentes cilíndricas convergentes

- 2) A partir dos conhecimentos adquiridos reproduza por meio de outro experimento o fenômeno observado. (Sugestão: Produção de uma câmara escura com caixa de papelão). A produção de uma câmara escura, pode ser feita com lata vazia com tampa de leite em pó, achocolatado, como uma máquina fotográfica, disponível no site: <<https://sites.ifi.unicamp.br/laboptica/fotografia-3/fotografando-com-uma-lata/>> de autoria de A. C. Costa. Ou feita com uma caixa de sapato com tampa, disponível no site: <<http://ramec.mec.gov.br/tv-escola/455-sala-de-professor-o-astronomo-vermeer/file>> ministério da educação RAMEC.

- 3) Faça uma entrevista com alguém da área da saúde sobre o tema: **SAÚDE DA VISÃO**. Questões para a entrevista:
- a) Existem muitos casos de doentes visuais em nossa região? A resposta depende do local da entrevista.
  - b) Quais as principais causas? A resposta depende do local da entrevista.
  - c) Quais as principais recomendações para prevenir-se contra os problemas visuais? Podemos citar alguns como: muito tempo observando ou lendo em telas de computador e celular, sem iscar; uso de óculos de sol não apropriados com lente de má qualidade; coçar os olhos, aumenta a pressão, pois torna a córnea e fibra ocular mais elástica.
  - d) Qual a importância de um acompanhamento médico desde o início do tratamento? Normalmente recomenda-se que faça o retorno no mínimo 1 vez ao ano.
  - e) Quais os procedimentos ao diagnosticar um paciente com algum problema visual? Levar ao oftalmologista
  - f) O município possui estrutura para tratar os pacientes? A resposta depende do local da entrevista

### **2.2.9 – Aula 09 – Questionário Avaliativo – PÓS-TESTE**

Esta aula foi trabalhada com 2 questionários, ou seja, o conteúdo foi dividido em 2 etapas. Parte 1 (aplicada após o experimento de refração), em que as questões envolvem conceitos, sendo estas 5 questões e 2 são objetivas, num total de 7 questões. A segunda parte (aplicada após o experimento do protótipo do olho) contém 4 questões todas objetivas. As questões são as mesmas do Pré-teste, mas não foi mantida exatamente a mesma ordem devida a essa separação. O gabarito é o mesmo do Gabarito nº01 de acordo com a questão.

#### **• Pós-teste (parte 1)**

Aluno(a):

nº

- 1) O que é luz em termos da Óptica Geométrica?
- 2) O que é refração?
- 3) O que é reflexão?
- 4) Como é formado o Arco-íris?
- 5) Por que um lápis “parece” quebrado ao ser colocado em um copo transparente com água?
- 6) O fenômeno conhecido como eclipse solar evidencia que a luz:
  - a) ( ) é independente quando se propaga.
  - b) ( ) é reversível quando se propaga.
  - c) ( ) se propaga em linha reta.
  - d) ( ) se propaga em linha curva.
  - e) ( ) contorna os objetos ao se propagar.

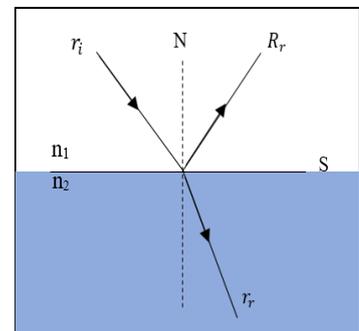
7) Ao observar um objeto que não é fonte de luz e que se apresenta com a cor azul. O objeto parece azul porque:

- a)  refrata a luz azul.
- b)  difrata a luz azul.
- c)  emite luz azul.
- d)  reflete luz azul.
- e)  nenhuma das alternativas anteriores.

8) Observando a Figura A é possível distinguir o raio incidente, refletido e refratado. Assinale a afirmativa que explica este fenômeno:

- a)  somente se  $n_1 > n_2$ .
- b)  somente se  $n_2 > n_1$ .
- c)  somente se  $n_2 = n_1$ .
- d)  esta representação não existe.
- e)  não depende de  $n_1$  e  $n_2$ .

**Figura A:** Representação de um raio de luz incidente  $r_i$ , refletido  $R_r$  e refratado  $r_r$  uma superfície  $S$  de separação e uma reta normal  $N$ .



• Pós-teste (parte 2)

Aluno(a): \_\_\_\_\_ n° \_\_\_\_\_

1) Qual problema da visão pode ser corrigido com lente divergente:

- a)  hipermetropia
- b)  miopia
- c)  glaucoma
- d)  catarata
- e)  nenhuma das alternativas anteriores

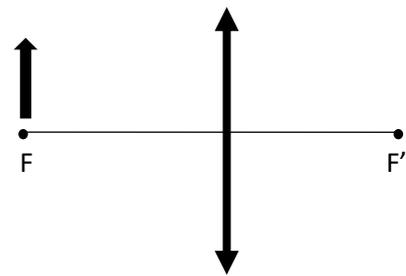
2) A Figura B ilustra uma bola em frente de um espelho plano e um observador olhando para o espelho. A imagem da bola está localizada:

- a)  em frente do espelho.
- b)  na superfície do espelho.
- c)  atrás do espelho.
- d)  não é possível saber.
- e)  as informações não são suficientes para determinar.

**Figura B:** uma bola e um observador diante de um espelho plano.



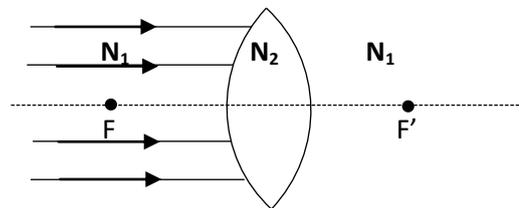
3) A Figura C representa um objeto colocado sob o foco objeto F, diante de uma lente convergente. Assinale a alternativa que melhor define a formação da imagem na lente:



**Figura C:** lente convergente.

- a)  imagem real, invertida e menor.
- b)  imagem real, invertida e igual.
- c)  imagem real, invertida e maior.
- d)  imagem imprópria se forma muito longe.
- e)  imagem virtual, direita e maior.

4) A Figura D representa raios de luz incidindo numa lente biconvexa de acrílico no ar. Escolha a alternativa que se espera dos raios ao atravessar a lente: Dados  $n_1 < n_2$ .



**Figura D:** raio de luz paralelos incidente numa lente biconvexa

- a)  raios divergentes.
- b)  raios convergentes.
- c)  raios paralelos.
- d)  raios bloqueados.
- e)  raios retornando.

Encerrando assim, a aplicação do PE. As questões apresentadas são sugestões, bem como a ordem apresentada do conteúdo. Cada aula pode ser ministrada individualmente sem ser sequencial. Os roteiros experimentais apresentados no Capítulo 1, também podem ser aplicados independentemente. Ao analisar as questões, sugere-se observar se as respostas são decoradas (aprendizagem do tipo mecânica) ou se realmente entenderam o fenômeno físico envolvido (aprendizagem significativa). Sugere-se que no caso de detectar que foi mecânica propor uma atividade investigativa para que o aluno se envolva na elaboração do aparato experimental e compreenda, tornando o aprendizado significativo.

## Considerações Finais

O presente trabalho fundamenta-se em uma proposta didática que tem como princípio a promoção da aprendizagem significativa de forma prática e simples. Espera-se que o estudante seja estimulado pela e para a ciência, e com isso, desmistifique o paradigma de que o aprender/fazer Física é atividade competente apenas para cientistas ou pessoas consideradas intelectualmente superiores.

Os experimentos descritos nesse trabalho derrubam a tese de que o fazer Física no espaço escolar está atrelado à existência de laboratórios super equipados, ainda que esse seja o ideal de todo o professor de escola pública, é necessário contornar a falta deles, pois o educando não pode passar pela escola sem receber e dar suas contribuições. Fica, portanto, comprovado que é possível ensinar Física com alternativas às aulas expositivas tão presentes no ensino de Física.

A importância do estudo participativo cabe ao professor oferecer além deste material, outros caminhos para que o estudante consiga desenvolver todo o seu potencial.

Por fim, espera-se que o presente trabalho contribua para uma aprendizagem significativa e que o acesso seja pleno.

## Referências Bibliográficas

- AUSUBEL, D. P. A aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel. São Paulo: Moraes, 1982.
- BONJORNO, Clinton, Eduardo Prado, Casemiro. Componente curricular: Física. Física: termologia, óptica, ondulatória, 2º ano. -- 2. ed. -- São Paulo: FTD, 2013.
- EXPERIMENTOS DE FÍSICAS. <http://fisicanoja.blogspot.com/2009/10/2-reflexao-da-luz.html>. Acesso em 01 de janeiro de 2017.
- MOREIRA, M.A. Aprendizagem significativa: um conceito subjacente. Aprendizagem significativa em revista/Meaningful Learnig Review – v1(3), pp. 25 – 46, 2011.
- MOREIRA, M.A. **Aprendizagem Significativa: a teoria e textos complementares**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2011.
- MOREIRA, M. A. **O que é afinal aprendizagem significativa?** Al final, qué es aprendizaje significativo? Revista Qurriculum. Espanha: Universidade de La Laguna, v. 25, p. 29-56, março. 2012. Disponível no site: <<http://moreira.if.ufrgs.br/oqueefinal.pdf>>
- NUSSENZVEIG, H. M.. Curso de Física Básica – Vol.4 / H. Moysés Nussenzveig – 1ª edição – São Paulo: Editora Blucher, 1998.
- PCN+ - Ensino Médio Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais FÍSICA. Disponível em: [http://www.sbfisica.org.br/arquivos/PCN\\_FIS.pdf](http://www.sbfisica.org.br/arquivos/PCN_FIS.pdf). Acesso em 20 de julho de 2018.
- PERUZZO, J. A Física Através de Experimentos: Termodinâmica, Ondulatória e Óptica. V.II / Jucimar Peruzzo. Irani (SC): 2013.
- ROBERTO, E. V.. *Aprendizagem ativa em óptica geométrica: experimentos e demonstrações investigativas*. 141 p. Dissertação (Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Física – Área de concentração: Física Aplicada) – Instituto de Física de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos. 2009.
- SANTOS, M. A.. *Conhecendo o olho humano: um protótipo usado para o ensino de Física voltado para a educação de jovens e adultos*. 133 f. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) – Departamento de Física, Universidade Estadual de Maringá, Paraná: Maringá. 2016.
- YAMAMOTO, K.. Física para o ensino médio, vol.2: termologia, óptica, ondulatória / Kazuhito Yamamoto, Luiz Felipe Fuke. -- 4.ed -- São Paulo: Saraiva, 2016.

## Apêndice A – Texto de Apoio – Óptica Geométrica

A Óptica é um ramo da Física dedicado ao estudo das leis que regem o estudo da luz e os fenômenos luminosos. A palavra óptica vem do grego *optiké* e significa “relativo à visão”. Ela é dividida em Óptica Física e Óptica Geométrica. Esta sessão foi desenvolvida baseando-se nos seguintes livros textos: HALLIDAY (2009), NUSSENZVEIG (1998), e em nível de graduação e YAMAMOTO e FUKE (2006) e BONJORNO (2001 e 2013) em nível de ensino médio. A seguir, serão destacados os conceitos relativos à Óptica Geométrica tema do presente trabalho.

### A.1 O Que é a Luz?

Diversos cientistas ao longo de toda a história buscaram explicar as características e fenômenos que nos intriga até os dias atuais. Para NEWTON (Isaac Newton – físico e matemático britânico - 1642-1729) a luz era constituída por um fluxo de inúmeros corpúsculos em ritmo contínuo produzido pelas fontes luminosas que se movem continuamente em velocidade altíssima. Defendia também a teoria corpuscular da luz. Teoria essa enunciada em 1675. Por outro lado, HUYGENS (Christiaan Huygens, físico e matemático holandês, 1629-1695), defendia a teoria ondulatória, em que a luz era uma perturbação de um meio hipotético, chamado de éter, na qual transportaria a luz para todos os lados. Estudo esse iniciado em meados de 1653 com outro foco, e sobre a natureza da luz por volta de 1676 (MOURA, 2016).

Estas diferentes concepções levantaram muitos questionamentos e dúvidas, a natureza ondulatória foi fortalecida com a observação de interferência por YOUNG (Thomas Young, físico e médico britânico, 1773-1829) em 1800, com o experimento da fenda dupla.

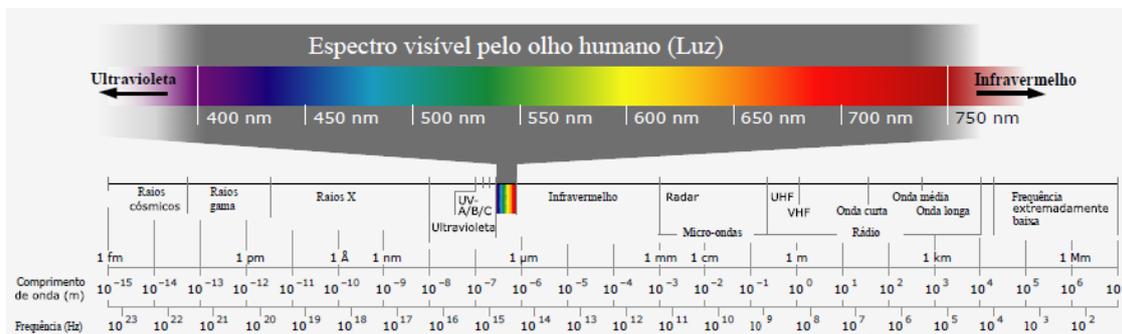
Enquanto que, MAXWELL (James Clerk Mawell, físico e matemático britânico, 1831-1879) mostrou em 1864 que um raio luminoso é a propagação no espaço de campos elétricos e magnéticos, nesta visão a luz é uma onda eletromagnética.

Por outro lado, em 1905, EINSTEIN (Albert Einstein, físico teórico alemão, 1879-1955), explicando o efeito fotoelétrico, propõe que a luz seja uma partícula. Desta forma, a luz configura-se com propagação ondulatória que, ao interagir com a matéria, a troca de energia é dada por propriedades corpusculares.

Portanto, estamos imersos em ondas eletromagnéticas, cuja principal fonte é o Sol. O espectro eletromagnético, em relação ao comprimento de onda, varia de  $10^8$  m a  $10^{-16}$  m. Sendo

que a região compreendida entre 430 nm a 690 nm é a parte do espectro a qual o olho é sensível, esta é a faixa de nosso interesse, a luz visível (Figura A.1).

Figura A.1 - Figura ilustrativa do espectro eletromagnético com ênfase na parte do visível.



Fonte: adaptado da ref. Wikipedia <[https://pt.wikipedia.org/wiki/Espectro\\_vis%C3%ADvel](https://pt.wikipedia.org/wiki/Espectro_vis%C3%ADvel)> .

Independente da faixa espectral a velocidade da luz no vácuo ( $c$ ) é aproximadamente de  $3 \times 10^8$  m/s.

Para que possamos visualizar os objetos é necessário que raios luminosos refletidos dos objetos cheguem à retina, de forma que os bastonetes e cones detectem a luz e por meio do nervo óptico as informações cheguem ao cérebro. Esta e outras formações de imagens podem ser compreendidas pelo estudo da OG que parte da hipótese de que a luz se propaga em linha reta. Fenômenos esses explicados por Huygens.

De acordo com NUSSEZVEIG: “Do ponto de vista ondulatório, a OG é uma aproximação válida para comprimentos de onda muito pequenos em confronto com as dimensões típicas envolvidas” (NUSSENZVEIG, p.6, 2010). Portanto às propriedades da luz visível, de acordo com os fenômenos de reflexão e refração da luz, que serão citados na sequência, constitui-se uma boa aproximação.

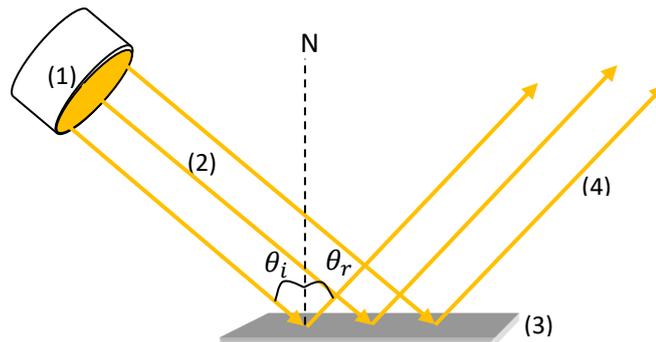
## A.2 Reflexão da Luz

É um fenômeno que acontece quando raios de luz incidem em uma superfície e retornam para o meio de origem em que se propagava. O fato de enxergarmos os objetos se deve a essa propriedade: a luz incide no objeto que por sua vez a reflete de forma que os raios de luz cheguem aos nossos olhos, e isso também ocorre quando a luz do Sol incide na Lua e esta reflete a luz que atinge a Terra até os nossos olhos.

Esta reflexão pode ser regular ou difusa.

- Reflexão regular: a incidência da luz é sobre uma superfície polida e lisa, e a luz reflete em uma única direção (Figura A.2). Os feixes são paralelos um em relação ao outro e seguem da mesma forma após incidir na superfície refletora. O ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão:  $\theta_i = \theta_r$ . Por exemplo, a imagem de uma luz incidindo no espelho polido e liso.

**Figura A.2** - Imagem ilustrativa de uma reflexão regular. Em que: (1) a fonte de luz, (2) raios de luz incidente; (3) superfície refletora; (4) raios de luz refletidos. Em que o ângulo de incidência  $\theta_i$  é igual ao de reflexão  $\theta_r$  em relação à normal (N) à superfície.

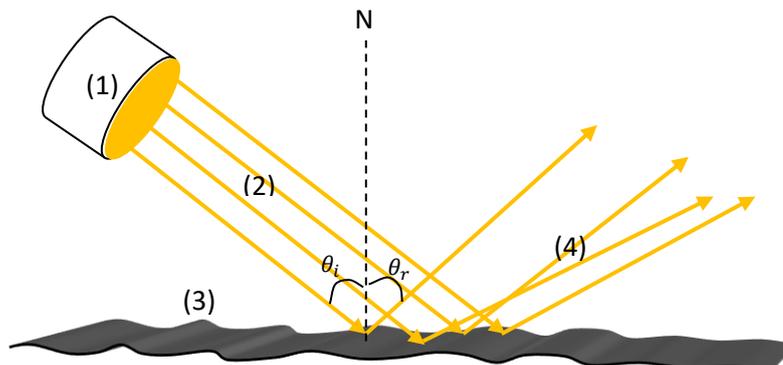


Fonte: o autor.

- Reflexão difusa: a Figura A.3 ilustra a reflexão difusa que ocorre quando os raios de luz incidem em uma superfície rugosa (irregular), causando um espalhamento nos raios refletidos em direções aleatórias dependendo do ponto onde incidem. Um exemplo é o raio de luz incidindo na água de um rio em que a água não está completamente lisa.

Esclarecendo que os raios incidentes saem da fonte, paralelos um ao outro, mas ao incidir sobre a superfície rugosa emergem em direções diferentes, mas o ângulo de reflexão será igual ao ângulo de incidência, visto que este é medido a partir do eixo normal à superfície entre os dois feixes. O ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão:  $\theta_i = \theta_r$ .

**Figura A.3** - Desenho esquemático representando um feixe de luz incidindo sobre uma superfície rugosa. Em que: (1) fonte de luz; (2) raio de luz incidente; (3) superfície rugosa e (4) raios refletidos. Sendo  $\theta_i$  ângulo de incidência e o  $\theta_r$  ângulo de reflexão iguais em relação a normal N à superfície.



Fonte: o autor.

E, as Leis da reflexão são:

- **1ª Lei:** o raio incidente, a reta normal (N) perpendicular à superfície refletora e o raio refletido estão no mesmo plano.
- **2ª Lei:** os ângulos de incidência e refletidos são iguais.

Para a compreensão da formação de imagens, é importante esclarecer a definição de ponto imagem. O ponto imagem é o ponto onde os raios de luz emergentes de um sistema óptico se interseccionam. Esses são classificados em: real, virtual ou impróprio.

- a) Ponto Imagem Real (PIR): é quando a imagem se forma do mesmo lado que o espelho, sendo esse o vértice do feixe emergente convergente;
- b) Ponto Imagem Virtual (PIV): é quando a imagem se forma “atrás” do espelho, no vértice do feixe emergente divergente;
- c) Ponto Imagem Impróprio ( $PI_{\infty}$ ): quando a imagem se “forma” no infinito, é o vértice do feixe emergente cilíndrico.

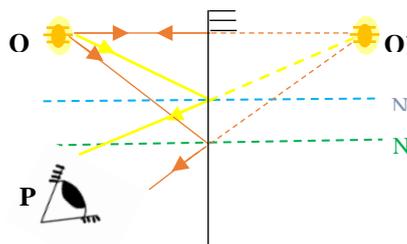
A seguir, apresentam-se os tipos de espelho e a formação de imagens em cada uma delas, respeitando as leis de reflexão. Sendo estes: os planos e esféricos (côncavo e convexo).

### **A.2.1 Espelhos Planos**

Na Figura A.4 está ilustrado o caso de um feixe de luz incidindo num espelho plano, supondo que um objeto luminoso **O** está localizado diante de um espelho plano. Considerando as leis da reflexão, é possível determinar os raios refletidos, prolongando-os para a região “atrás” do espelho todos os raios refletidos (PIV) concentrados em um único ponto convergente, **O'**.

Analisando suas características, vemos que o ponto **O'** é simétrico ao ponto **O** em relação ao espelho, como mostra a Figura A.4, visto por um observador **P**. Para o mesmo observador no plano incidente dos raios refletidos divergentes, eles ilustram um feixe originário de **O'**, de maneira que a percepção visual é idêntica à que se teria se os raios fossem dele próprio, constituindo uma imagem virtual, portanto, imagem virtual (PIV) ocorre quando não têm raios luminosos emitidos por ela mesma, sendo formados pelos prolongamentos de raios luminosos refletidos de **O** (Ponto objeto real - POR).

**Figura A.4** - Ilustração esquemática representando a formação de imagem (**O'**) de um objeto luminoso (**O**) num espelho plano visto por um observador (**P**). E, N é a normal em relação a superfície do espelho.



**Fonte:** o autor.

E, se o objeto for extenso, o tamanho da imagem será o mesmo do objeto. Um efeito interessante na formação de imagens em espelhos planos é quando estes são posicionados em uma associação dos mesmos.

### A.2.1.1 Associação de Espelhos Planos

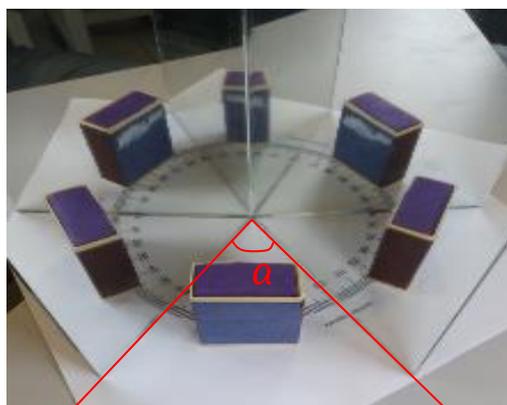
Em alguns hotéis encontramos dois espelhos planos posicionados um frente ao outro, ou seja, as superfícies refletoras estão paralelas. E, quando olhamos vemos muitas imagens formadas nos mesmos, qual o motivo desse efeito ocorrer? Neste caso, a formação de imagens é infinita, devido a infinitas reflexões da luz como ilustra a Figura A.5 (a).

Quando há um ângulo  $\alpha$  entre os dois espelhos planos, unidos por um vértice, a luz refletida pela superfície refletora de um espelho atinge outra superfície refletora de um segundo espelho, originando várias imagens (que depende de  $\alpha$ ), como ilustrado na Figura A.5 (b).

**Figura A.5** - Imagem fotográfica da formação (a) de infinitas imagens em uma associação de dois espelhos planos em paralelo e (b) de imagem numa associação de dois espelhos planos sob um ângulo  $\alpha = 60^\circ$ , indicado em vermelho.



(a)



(b)

**Fonte:** arquivo do autor.

A posição do objeto também é importante, e as superfícies refletoras devem estar em posições que permitam que o raio refletido por uma superfície atinja a outra.

A relação entre, N, o número de imagens de um único objeto e,  $\alpha$ , o ângulo formado entre os dois espelhos é dado por:

$$N = \frac{360}{\alpha} - 1. \quad (A.1)$$

A Eq. (A.1) é válida em relação à formação de imagens, quando:

- a razão  $\frac{360}{\alpha}$  for um número par, para qualquer posição do objeto entre os espelhos;
- a razão  $\frac{360}{\alpha}$  for um número ímpar, somente quando o objeto estiver no plano bissetor<sup>20</sup> da associação.

Por exemplo, caso o ângulo,  $\alpha$ , entre os dois espelhos for de  $90^\circ$ , a razão  $\frac{360}{\alpha}$  será igual a 4, sendo este um número par, logo N igual a 3. Significa que formarão 3 imagens. Sendo uma imagem frontal e uma em cada espelho. Isso para qualquer posição do objeto. Que é o mesmo caso da Figura A.5 (b), embora posicionado no plano bissetor, o número de imagens seria igual em qualquer outro ponto entre os espelhos.

A Tabela A.1, apresenta o número de imagens respeitadas o fato da razão  $360/\alpha$  ser par ou ímpar e a posição do objeto, conforme validade da Equação (A.1).

**Tabela A.1** - Dados do ângulo, a condição da razão ser par ou ímpar, e o número de imagens N que se formam entre dois espelhos planos.

$\alpha$ ( $^\circ$ )	Razão ( $= \frac{360^\circ}{\alpha}$ )	N(imagem(ns))
360	1 - ímpar	0
180	2 - par	1
120	3 - ímpar	2
90	4 - par	3
72	5 - ímpar	4
60	6 - par	5
45	8 - par	7

**Fonte:** o autor.

<sup>20</sup> Plano que divide o quadrante.

A seguir, apresenta-se a formação de imagens em espelhos esféricos.

## A.2.2 Espelhos Esféricos

A origem de espelhos esféricos com imagem nítida se deve a Gauss (Johann Carl Friedrich Gauss<sup>21</sup>, matemático, astrônomo e físico alemão (1777-1855) que em seus estudos de óptica, 1840, concluiu que os elementos que compõem o objeto precisam corresponder ao da imagem. Esses elementos são os pontos e retas. Fato este mais fácil de observar em um espelho plano, pois os pontos entre ambos são correspondentes, bem como as retas. No caso de espelhos esféricos Gauss descobriu que isso somente é válido até um determinado ângulo de curvatura, no caso, menor que  $10^\circ$ , os raios incidentes devem ser próximos ao eixo principal e devem ter uma pequena inclinação com relação ao eixo principal (VIANNA, 2019). Condição essa denominada condição de Gauss, e os espelhos confeccionados sob esta condição são chamados de espelhos de Gauss.

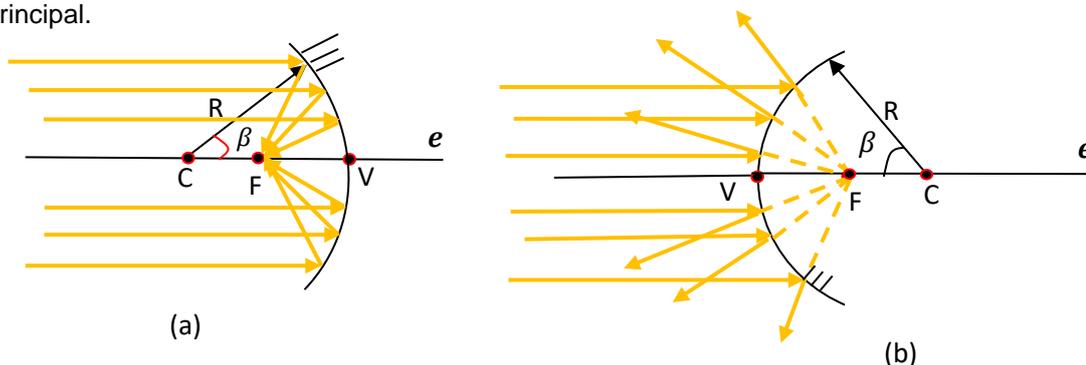
O espelho esférico é formado por uma superfície refletor curva semelhante a uma casca esférica. Pode ser côncava ou convexa como representada na Figura A.6. Seus elementos geométricos são:

- C: o centro de curvatura, ou seja, o centro da casca esférica que originou a concavidade.
- R: raio da curvatura, a medida do raio da casca esférica que originou a concavidade.
- V: vértice do espelho, ponto localizado na região perpendicular entre o eixo principal e o plano vertical externo do espelho, polo da concavidade.
- e: eixo principal, a reta que corta perpendicularmente a região central do plano vertical do espelho.
- $\beta$ : o ângulo de abertura do espelho.
- F: foco do espelho. No caso do espelho côncavo, o foco é denominado real sendo o ponto onde a luz converge (Figura A.6 (a) em linhas de cor alaranjada) e no espelho convexo o foco denominado virtual sendo o ponto da qual os feixes de luz divergem (Figura A.6 (b) linhas de cor alaranjada). A distância focal (f) é a distância do vértice (V) ao ponto focal (F) tal que o raio de curvatura (R) é igual a duas vezes a distância focal(f):  $R= 2f$ .

---

<sup>21</sup> É o mesmo da Lei de Gauss do eletromagnetismo, elaborada em 1835 e publicada em 1867. Fonte: wikipedia < [https://pt.wikipedia.org/wiki/Lei\\_de\\_Gauss](https://pt.wikipedia.org/wiki/Lei_de_Gauss)>. Acesso em 12/08/2019.

**Figura A.6** – Desenho esquemático de um espelho (a) côncavo e (b) convexo. Em que: C indica o centro de curvatura do espelho de raio R, F o foco, V o vértice,  $\beta$  o ângulo de abertura do espelho e  $e$  o eixo principal.



Fonte: o autor

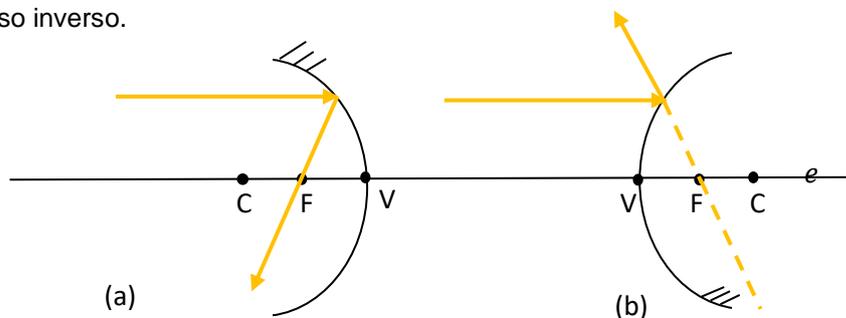
No caso de espelhos esféricos, as imagens reais formam-se do mesmo lado do espelho em que se encontra o objeto, e as imagens virtuais do lado oposto.

### A.2.2.1 Propriedades dos Raios Incidentes em Espelhos Esféricos

De acordo como o raio de luz incide sobre um espelho esférico, segundo as leis de reflexão apresentadas na introdução desta seção A.2, a posição e o tamanho das imagens irão obedecê-las, e são refletidos seguindo três propriedades:

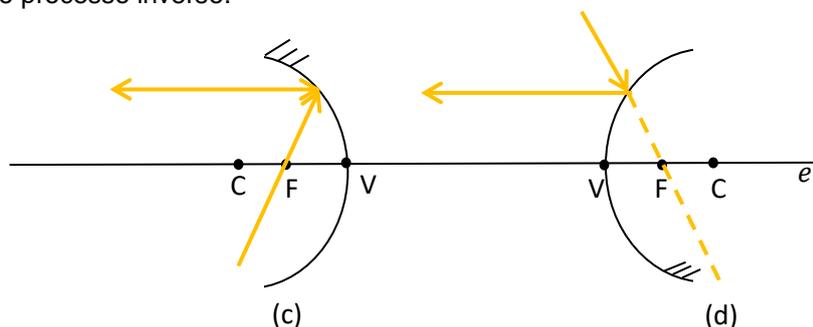
- 1) Todo raio paralelo ao eixo principal que incide na superfície do espelho passa pelo foco (F), (Figuras A.7.1 (a) côncavo e (b) convexo). E, todo raio que incide a superfície do espelho passando pelo foco emerge paralelo ao eixo principal ( $e$ ) (Figuras A.7.2 (c) côncavo e (d) convexo).

**Figura A.7.1** – Desenho ilustrativo indicando um feixe de luz que incide paralelo ao eixo principal ( $e$ ) na superfície de um espelho (a) côncavo e (b) convexo, passa pelo foco (F). Em (c) côncavo e (d) convexo, o processo inverso.



Fonte: o autor

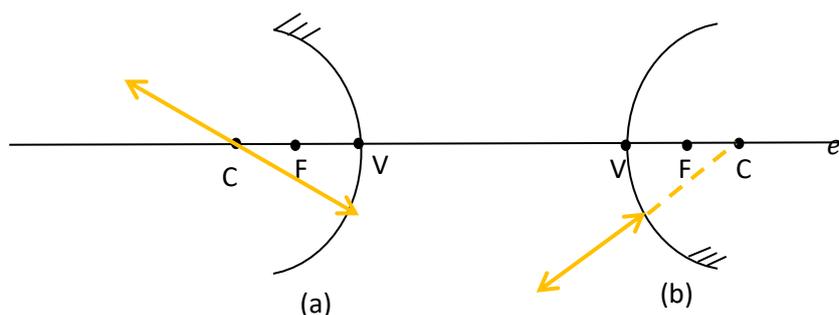
**Figura A.7.2** – Desenho ilustrativo indicando um feixe de luz que incide paralelo ao eixo principal ( $e$ ) na superfície de um espelho (a) côncavo e (b) convexo, passa pelo foco (F). Em (c) côncavo e (d) convexo, o processo inverso.



Fonte: o autor.

2) Todo raio que passa sobre o centro de curvatura volta pelo mesmo (Figura A.8).

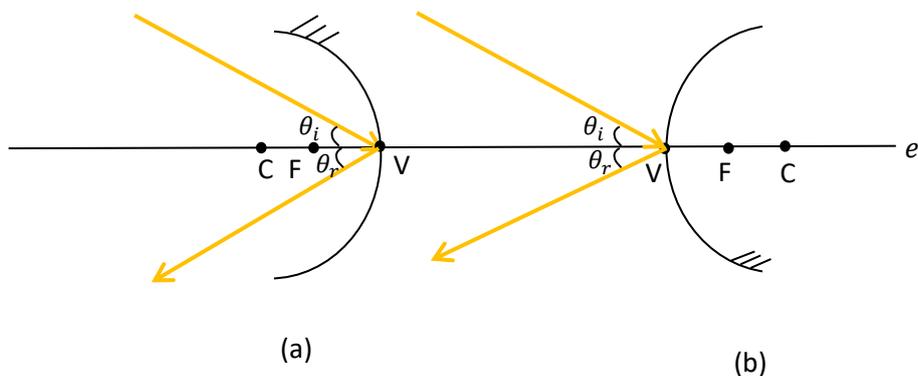
**Figura A.8** - Desenho ilustrativo indicando um feixe de luz que incide passando pelo centro de curvatura na superfície de um espelho (a) côncavo e (b) convexo, o mesmo retorna pelo centro de curvatura.



Fonte: o autor.

3) Todo raio que incide sobre o vértice (V) é refletido em um ângulo igual ao de incidência ( $\theta_r = \theta_i$ ) (Figura A.9 (a) côncavo e (b) convexo).

**Figura A.9** - Desenho ilustrativo indicando um feixe de luz que incide no vértice do espelho (a) côncavo e (b) convexo, reflete ( $\theta_r$ ) com o mesmo ângulo de incidência ( $\theta_i$ ).



Fonte: o autor.

➤ **CONVENÇÃO DE SINAIS** (NUSSENZVEIG, 2010):

- 1) A luz (raio de luz) incide da esquerda para a direita e reflete da direita para a esquerda;
- 2) Para um objeto de tamanho  $\overline{AB}$  e imagem  $\overline{A'B'}$ , a distância objeto imagem são medidas de A para V e A' para V, respectivamente. E será positiva (objeto e/ou imagem reais) quando A e/ou A' estão à esquerda de V e virtuais (negativas) quando à sua direita;
- 3) A distância focal (f) dada por  $\overline{FV}$ , é positiva para F à esquerda de V;
- 4) O raio de curvatura é  $\overline{CV}$  sendo positiva para espelho côncavo;
- 5) Distâncias verticais são positivas acima do eixo principal ( $e$ ) e negativas abaixo do mesmo;

Tendo conhecimento de como os raios de luz se comportam quando incidem um espelho esférico e convencionado os sinais, a seguir apresenta-se como se forma a imagem em um espelho esférico convexo e côncavo.

### **A.2.2.2 Formação de Imagem em Espelhos Esféricos**

Nesta subseção apresenta-se como a imagem se forma em espelhos esféricos de Gauss. Apresentam-se as características de forma geral e depois a formação da imagem em espelhos convexos por ser de uma única forma e posteriormente as diferentes formações de imagem em espelhos côncavos.

➤ **CARACTERÍSTICAS**

Toda imagem produzida por um espelho esférico tem três características: natureza, posição e tamanho.

- a) Quanto à **sua natureza**, uma imagem pode ser classificada como:
  - **Real:** obtida da intersecção dos próprios raios refletidos, a imagem se forma na frente do espelho;
  - **Virtual:** obtida da intersecção dos prolongamentos dos raios refletidos, a imagem se forma atrás do espelho;
  - **Imprópria:** quando não ocorre a intersecção dos raios refletidos ou de seus prolongamentos, a formação de imagens ocorre no infinito (representado pelo símbolo:  $\infty$ ).

b) Quanto à **sua posição**, uma imagem pode ser classificada como:

- **Direita** ou direta: objeto e imagem conjugada representada por segmentos orientados para o mesmo sentido, todos para baixo ou todos para cima.
- **Invertida**: imagem conjugada e objeto representado por segmentos orientados de sentido oposto.

c) Quanto ao seu **tamanho/altura**, uma imagem pode ser classificada como:

- **Maior que o objeto** ( $\theta_i > 0$ );
- **De mesmo tamanho** ( $\theta_i = 0$ );
- **Menor que o objeto** ( $\theta_i < 0$ ),

em que  $\theta_i$  é o ângulo de incidência em relação ao eixo principal ( $e$ ).

### ➤ ESPELHOS CONVEXOS

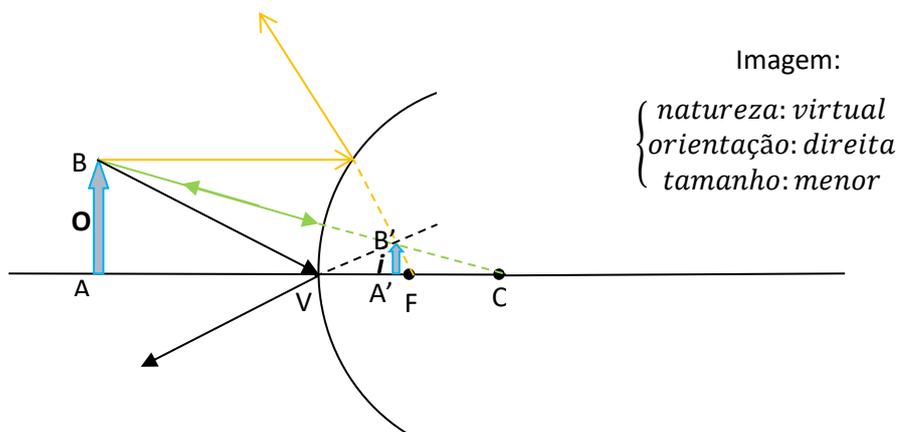
Para os espelhos convexos: independentemente da posição do objeto  $\overline{AB}$  disposto diante deste espelho, sua imagem  $\overline{A'B'}$  sempre será: virtual, direita e menor que o objeto, Figura A.10.

Consideraram-se duas possibilidades: a de um raio de luz passando pelo vértice (indicado pela seta em cor preta) bem como, passando pelo centro de curvatura (indicado pela cor verde) a imagem será a mesma.

Na primeira situação, o ângulo de reflexão ( $\theta_r$ ) será o mesmo do ângulo incidente ( $\theta_i$ ), ambos em relação ao eixo principal ( $e$ ), e a imagem ( $i$ ) terá o tamanho e local definido por seu prolongamento atrás do espelho. No segundo caso também se faz a prolongação do raio de luz que reflete no espelho em direção ao ponto do centro de curvatura, fato esse, devido o raio refletido voltar em sentido oposto e na mesma direção ao de incidência.

Na Figura A.10, as cores dos raios é um fator meramente ilustrativo para acompanhar a sua trajetória.

**Figura A.10** - Desenho esquemático representando um raio de luz incidente em um espelho esférico convexo. Em laranja o raio de luz passando pelo foco (F), em verde passando pelo centro de curvatura (C) e em preto se passasse pelo vértice (V). Em azul o objeto ( $\overline{AB}$ ) do lado esquerdo e a imagem ( $\overline{A'B'}$ ) do lado direito (atrás) do espelho.



Fonte: o autor

**Exemplos de espelhos convexos:** espelhos de lojas ou para garagem de prédios, retrovisor de veículos, Figuras A.11 (a) e (b), respectivamente. O motivo do uso de espelhos convexos no cotidiano é por proporcionar uma ampla visão no mesmo, visto que diminuem a imagem. Outros objetos possuem a mesma propriedade, como o lado externo de uma concha ou colher de superfície refletiva e polida, uma bolha de sabão, bem como o olho humano.

**Figura A.11** – Imagens de exemplos espelhos convexos. (a) espelho saída de garagem de prédio; (b) retrovisor de automóvel.



(a)



(b)

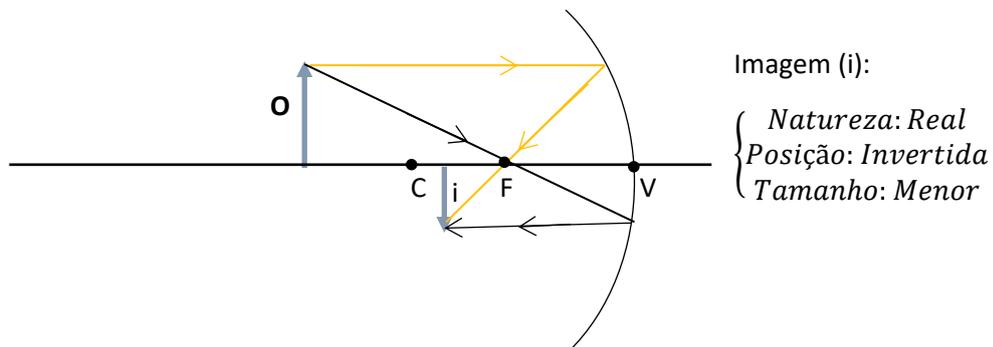
**Fontes:** (a) <<https://www.americanas.com.br/busca/espelho-convexo>> e (b) <<https://portaldotransito.com.br/noticias/proposta-proibe-colocacao-de-peliculas-que-comprometam-visao-de-retrovisores/>>;

No caso da formação de imagens em espelhos esféricos côncavos apresentam-se a seguir, as cinco possibilidades respeitando as leis e propriedades de reflexão. Nestes exemplos, omitiram-se a indicação de  $A$  e  $B$  como início e final do tamanho do objeto e de  $A'$  e  $B'$  para a imagem.

## ➤ ESPELHOS CÔNCAVOS

- 1) Para objetos situados antes do centro de curvatura  $C$ , a imagem será: real, invertida e menor que o objeto, Figura A.12. A cor do raio é um fator meramente ilustrativo para acompanhar a sua trajetória.

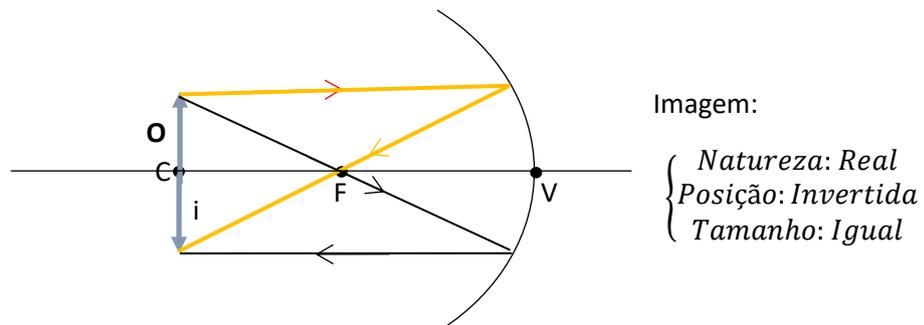
**Figura A.12** - Desenho esquemático representando um raio de luz incidente em um espelho esférico côncavo. Em que  $O$  é o objeto e  $i$  a imagem;  $C$  centro de curvatura,  $F$  o foco, e o vértice ( $V$ ).



Fonte: o autor.

- 2) Para objetos **situados no centro de curvatura  $C$** , a imagem será: real, invertida e igual ao objeto, Figura A.13. A cor do raio é um fator meramente ilustrativo para acompanhar a sua trajetória.

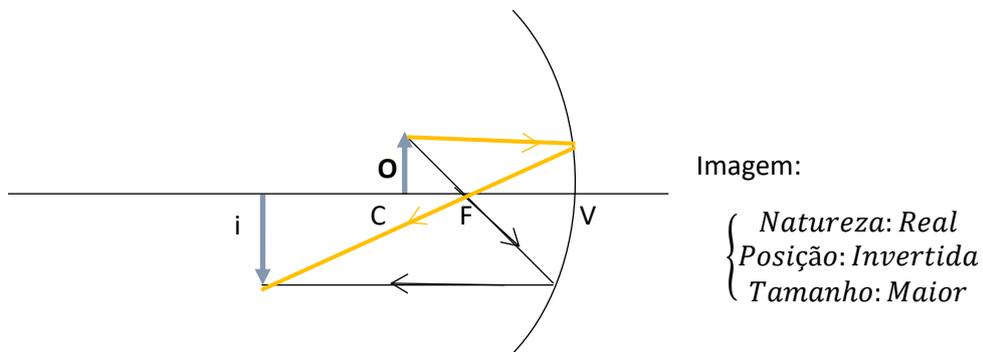
**Figura A.13** - Desenho esquemático representando um raio de luz incidente em um espelho esférico côncavo em que o objeto e imagem estarão situados sobre o centro de curvatura ( $C$ ),  $F$  é o foco e  $V$  o vértice.



Fonte: o autor.

- 3) Para objetos situados **entre o centro de curvatura  $C$  e o foco principal  $F$** , a imagem será: real, invertida e maior que o objeto, Figura A.14. A cor do raio é meramente ilustrativa para acompanhar a sua trajetória.

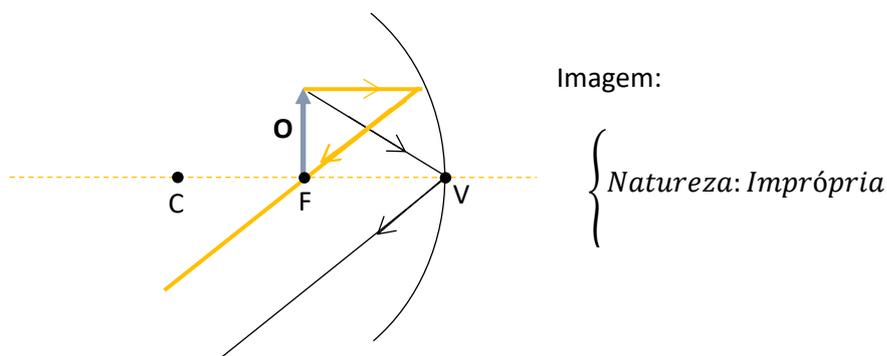
**Figura A.14** - Desenho esquemático representando um objeto (O), e sua imagem (i) em um esférico côncavo. Em que o objeto e imagem estarão situados entre o centro de curvatura (C) e o Foco Principal (F) e V o vértice.



Fonte: o autor.

- 4) Para objetos situados **sobre o foco principal F**, a imagem será: imprópria, os raios convergem no infinito, Figura A.15. A cor do raio é meramente ilustrativa para acompanhar a sua trajetória.

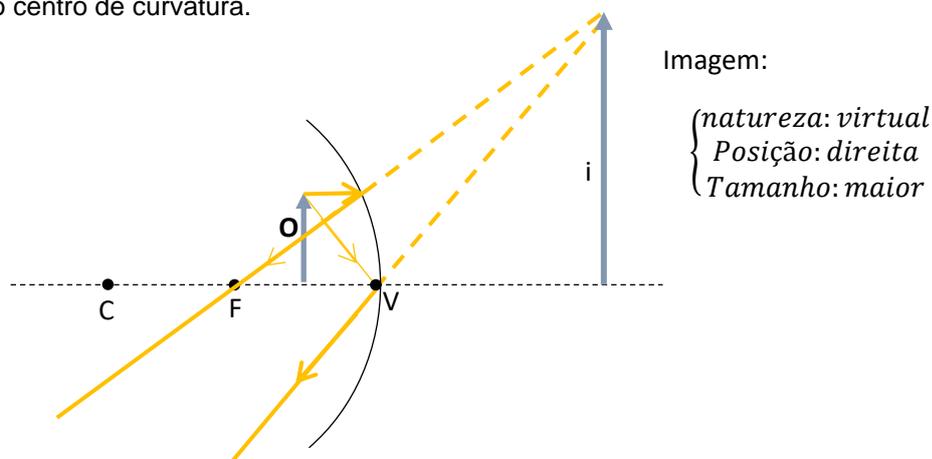
**Figura A.15** - Desenho esquemático representando um raio de luz incidente em um espelho esférico côncavo, quando o objeto (O) está sobre o foco principal (F). A imagem (i) será formada no infinito. Sendo C o centro de curvatura e V o vértice.



Fonte: o autor

- 5) Para objetos situados entre o foco principal F e o vértice V, a imagem será: virtual, direita e maior que o objeto, Figura A.16. A cor do raio é meramente ilustrativa para acompanhar a sua trajetória. Lembrando que o ângulo formado com relação ao eixo principal do raio refletido no vértice deve ser igual a do raio incidente nessa posição em relação ao mesmo eixo.

**Figura A.16** - Desenho esquemático representando um raio de luz incidente em um espelho esférico côncavo, quando o objeto (O) situado entre o foco principal (F) e o vértice (V). Sendo *i* a imagem formada e C o centro de curvatura.



**Fonte:** o autor

**Exemplos de espelhos esféricos côncavos:** espelho bucal odontológico (este também pode ser feito com espelho plano), espelhos de maquiagem, (Figura A.17); o lado interno de uma concha ou colher de superfície refletida;

**Figura A.17** – Fotos de espelhos esféricos côncavos: (a) espelho bucal odontológico; (b) espelho para maquiagem.



(a)



(b)

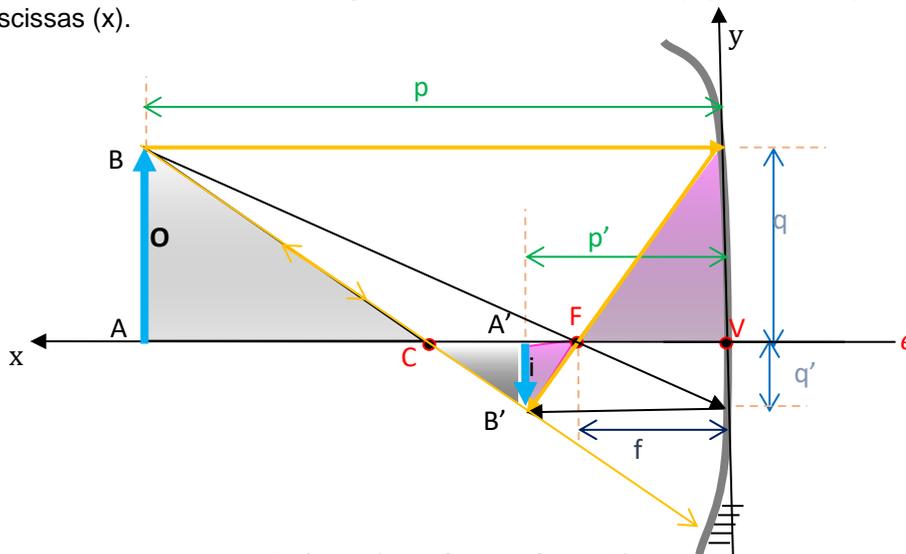
**Fontes:** figura adaptada da ref.: (a) <blogdoenem.com.br>; (b) <produto.mercado livre.com.br>.

A seguir, vejamos qual é a equação fundamental dos espelhos esféricos.

### A.2.2.3 Equação de Gauss ou Equação dos Pontos Conjugados

Para obter a equação de Gauss, primeiro define-se o referencial de Gauss, sendo este um referencial no sistema cartesiano que coincide com a estrutura da OG. Neste, o eixo das abscissas coincide com o eixo principal, aponta positivo para a esquerda, e o eixo das ordenadas é posicionado sobre o espelho. Sendo a origem  $(x,y) = (0,0)$  situado no vértice. Conforme ilustrado na Figura A.18.

**Figura A.18** - Figura esquemática indicando as definições da relação do sistema cartesiano com a estrutura da OG para a formação da imagem (i) de um objeto (O) situado antes do ponto de curvatura (C). O vértice (V) coincide com a origem do sistema cartesiano (x,y). E o eixo principal (e) com o eixo das abscissas (x).



Fonte: Figura adaptada da referência (EDUCABRAS, 2018).

Os termos utilizados na Figura 1.18 são:

$p$ : abscissas do objeto a distância da imagem ao vértice no eixo das abscissas;

$p'$ : abscissas da imagem a distância do objeto ao vértice.;

$q$ : ordenada do objeto o tamanho do objeto no caso  $\overline{AB}$ ;

$q'$ : ordenada da imagem – o tamanho da imagem, no caso  $\overline{A'B'}$ ,

$f$ : distância focal, a distância do foco F ao vértice (V).

A equação de Gauss relaciona a distância focal ( $f$ ) com a abscissa da imagem ( $p'$ ), como ilustra a Figura A.18. A relação entre o tamanho  $\overline{AB}$  e a curvatura C, é dada por um triângulo retângulo do objeto (O). E o referente à imagem (i) é dado por  $\overline{A'B'}$  e C, conforme ilustrados em azul. Por semelhança dos triângulos  $\overline{AB} C$  e  $\overline{A'B'} C$ , tem-se que:

$$\frac{\overline{AB}}{\overline{AC}} = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{A'C}} \Rightarrow \frac{q}{p - 2f} = \frac{q'}{2f - p'} \Rightarrow \frac{q}{q'} = \frac{p - 2f}{2f - p'}. \quad (A. 2a)$$

A relação entre o tamanho  $\overline{FV}$  com a ordenada da imagem  $q$ , é dada por um triângulo retângulo em cor rosa maior. E, o referente à imagem  $q'$  é dado por  $\overline{A'B'}$  e F, conforme ilustrados em cor rosa na Figura A.18, relacionando os triângulos pela sua semelhança:

$$\frac{\overline{A'B'}}{\overline{A'F}} = \frac{\overline{IV}}{\overline{FV}} \Rightarrow \frac{q'}{p' - f} = \frac{q}{f} \Rightarrow \frac{q}{q'} = \frac{f}{p' - f}. \quad (\text{A. 2b})$$

Igualando as equações (A.2 a) e (A.2 b):

$$\frac{p - 2f}{2f - p'} = \frac{f}{p' - f}. \quad (\text{A. 3})$$

A Equação (A.3) fornece a Equação de Gauss:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'}. \quad (\text{A. 4})$$

O fator  $\frac{1}{f}$  é conhecido como o poder de convergência do espelho (NUSSENZVEIG, 2010).

**Exemplo A.1 - Aplicação da Equação (A.3)** - Para o espelho côncavo, objeto e imagem da Figura A.18, a que distância do vértice do espelho é formada a imagem do objeto, sabendo que o objeto se encontra a 40 cm do vértice, e o espelho tem raio de 30 cm?

**Resolução:** Sabendo que  $f=R/2 = 15$  cm,  $p=40$  cm, logo  $p'= 24$  cm do vértice.

### ➤ Tamanho da Imagem (NUSSENZVEIG, 2010)

A relação entre a distância da imagem ( $p'$ ) com relação ao objeto ( $p$ ) fornece a ampliação ou redução de uma imagem:

$$A = -\frac{p'}{p} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} A < 0 \text{ Imagem Invertida} \\ A > 0 \text{ Imagem Direita} \\ |A| > 1 \text{ Imagem ampliada} \\ |A| = 0 \text{ Imagem igual} \end{array} \right.$$

**Exemplo A.2.** No caso do exemplo 1.1, se  $A = -0,6$ , portanto entre 0 e 1, fornecendo uma imagem reduzida e o sinal negativo indica invertida e de tamanho 0,6 cm.

A seguir, inicia-se a seção sobre o outro fenômeno da luz denominado de refração.

## A.3 Refração da Luz: propriedades e exemplos

A refração da luz é um fenômeno da alteração da velocidade da luz em sua propagação ao transpor diferentes meios ópticos. Para tal considera-se que a passagem da luz de um meio homogêneo para outro, levando em consideração que sua refração<sup>22</sup> seja diferente. Este fenômeno altera a velocidade da luz e desvia o raio de luz de sua trajetória inicial quando sua incidência for obliquamente à superfície. Um caso especial ocorre quando o ângulo de incidência for perpendicular à superfície, nesse caso o raio da luz não sofre variação, ou seja, não sofre desvio.

Esse fenômeno, suas propriedades e exemplos são apresentados nesta seção. Iniciando pelas propriedades da refração.

### A.3.1 Índice de Refração

É um termo que depende da velocidade da luz no meio refringente, quanto maior a refração, maior o índice de refração. Portanto, o índice de refração é a razão entre a velocidade da luz no vácuo ( $c$ ) em determinado meio e a velocidade da luz no meio ( $v$ ),  $c \sim 3 \times 10^8$  m/s, o índice de refração absoluto ( $n$ ) é dado por:

$$n = \frac{c}{v} . \quad (\text{A. 5})$$

O índice de refração depende do estado físico do material, se sólido, líquido ou gasoso. Na Tabela A.2, apresenta-se os índices de refração de algumas substâncias.

**Tabela A.2** – Índice de refração ( $n$ ) de alguns materiais sólido, líquidos e gasosos, a 20°C.

Substância/material	$n$
vácuo	1
ar	1,00029
Água	1,33
Glicerina	1,473
Vidro comum	1,50
Acrílico	1,49
Diamante	2,42

**Fonte:** (HALLIDAY, 2009).

<sup>22</sup> Propriedade de refratar a luz.

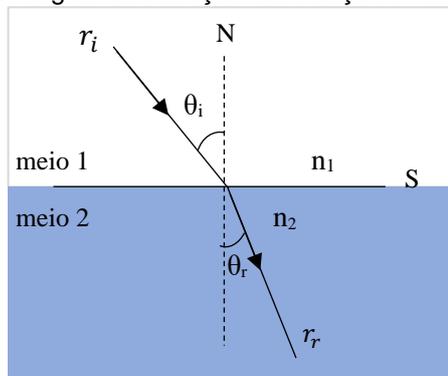
De posse do índice de refração pode-se obter a velocidade com que a luz se propaga no meio, utilizando a Eq. (A.5). Assim como o fenômeno da reflexão, a refração também possui suas leis.

### A.3.2 Leis da Refração

O astrônomo e matemático Holandês Willebrord SNELL Van Roijen (1580-1626) e o filósofo, físico e matemático Frances René DESCARTES (1596-1650) concluíram que a lei da refração, em que um feixe de luz monocromático se propagando entre diferentes meios e que incida obliquamente sobre o plano de separação, sofre desvio em sua trajetória. Lei esta conhecida desde 1921 por SNELL-DESCARTES.

Para compreender essa lei, considere dois meios 1 e 2, com índice de refração  $n_1$  e  $n_2$ , respectivamente, em que incide um raio de luz de um ângulo  $\theta_i$  em relação a normal N e  $\theta_r$  o ângulo do raio refratado. Sendo S a superfície que separa os dois meios (essa fronteira de separação é chamada dióptro plano), conforme indicado na Figura A.19.

**Figura A.19:** Ilustração esquemática representando um raio de luz passando de um meio homogêneo para outro, em que  $n_1$  é o índice de refração do meio 1 e  $n_2$  é o índice de refração do meio 2,  $\theta_i$  é o ângulo incidente e  $\theta_r$  é o ângulo de refração em relação a normal N.



**Fonte:** o autor.

A refração da luz segue duas leis:

- **Primeira Lei:** o raio incidente  $r_i$ , a normal  $N$  e o raio refratado  $r_r$  são coplanares<sup>23</sup>.

O raio refratado passa para o outro meio com sua velocidade alterada e:

- seu desvio aproxima da normal (N) se  $n_2 > n_1$ ;
- seu desvio afasta da normal (N) se  $n_1 > n_2$ ;

---

<sup>23</sup> Situam no mesmo plano.

- não sofre desvio se  $n_1 = n_2$ ;
- não sofre desvio se o ângulo de incidência for  $90^\circ$  em relação a superfície de separação dos meios.

DESCARTES propôs a relação entre as velocidades da luz nos meios considerados, sendo proporcional aos senos dos ângulos  $\theta_i$  e  $\theta_r$ :

$$\frac{\text{sen } \theta_i}{\text{sen } \theta_r} = \frac{v_1}{v_2} . \quad (\text{A. 6})$$

Escrevendo esta equação em termos dos índices de refração (Eq. A.5) chegamos à segunda lei.

- **Segunda Lei:** quando um raio de luz ao passar de um meio para outro, obliquamente, sua refração obedece a uma **lei** conhecida como **Snell-Descartes** dada por:

$$n_1 \text{sen } \theta_i = n_2 \text{sen } \theta_r . \quad (\text{A. 7})$$

Com base na lei de Snell-Descartes (Eq. A.7), considerando a Figura A.19:

- para  $n_1 < n_2 \Rightarrow \theta_i > \theta_r$  para manter a igualdade na Eq. (A7).

Portanto, o raio de luz ao passar de um meio menos refringente para outro mais refringente, o ângulo de incidência ( $\theta_i$ ) é maior que o ângulo de refração ( $\theta_r$ ) em relação a normal (N) à superfície, ou seja o raio de luz ao entrar no meio 2, se aproxima da normal (N) (Figura (A.20 (a))).

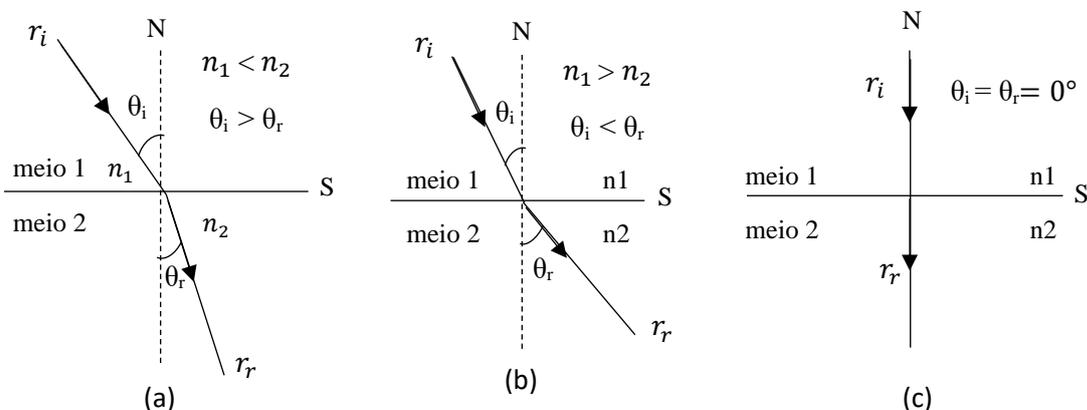
- para  $n_1 > n_2 \Rightarrow \theta_i < \theta_r$

Assim, para o caso de a luz passar de um meio mais refringente para outro menos refringente, o raio de luz se afasta da normal (N) (Figura (A.20 (b))).

- para  $n_1 = n_2 \Rightarrow \theta_i = \theta_r = 0^\circ$ .

O raio incidente e o raio refratado estão sobre a normal (N) (Figura (A.20 (c))).

**Figura A.20** - Desenho esquemático representando um raio de luz passando de um meio homogêneo para outro. Em que: raio incidente ( $r_i$ ), raio de refração ( $r_r$ ), reta normal (N) a superfície (S), índice de refração do meio 1 ( $n_1$ ), índice de refração do meio 2 ( $n_2$ ), ângulo de incidência ( $\theta_i$ ), ângulo de refração ( $\theta_r$ ). Para 3 situações: (a)  $n_1 < n_2$ ; (b)  $n_1 > n_2$  e (c)  $n_1 = n_2$ .



**Fonte:** adaptado da referência (HALLIDAY, 2009).

Exemplos do cotidiano onde se observa o fenômeno da refração:

- 1) Canudo que parece quebrado dentro de um copo com água (Figura A.21 (a)): este é o mesmo efeito ilustrado na Figura A.20 (a), em que a luz passa de um meio com índice de refração menor para maior. O raio/feixe/ de luz no caso o canudo se aproxima da normal aparentando estar quebrado.
- 2) Efeito Miragem<sup>24</sup> – “água” no asfalto em um dia de calor em que o SOL brilha forte: esse é um efeito da mudança de direção da luz (refração) nas camadas de ar com diferentes temperaturas. (Figura A.21 (b) o efeito apontado com a seta de cor vermelha).
- 3) Decomposição da luz em um prisma óptico: devido ao efeito de dispersão, o índice de refração varia conforme o espectro da luz, e assim ocorre a separação das cores quando refratadas (Figura A.22 (a)). Efeito semelhante é o Arco-íris Figura A.22.
- 4) Posição aparente do peixe dentro da água ao observá-lo de fora do lago. O processo inverso também é válido, o peixe vendo o observador. Análogo ao fenômeno da Figura A.25 da profundidade.

<sup>24</sup> Uma explicação do efeito de forma mais simples encontra-se no site: <<https://super.abril.com.br/mundo-estranho/de-que-modo-se-forma-a-miragem/>>

**Figura A.21** - Imagens ilustrativas do efeito do fenômeno da refração no cotidiano: (a) “canudo quebrado”, aproximando da normal (N); (b) efeito miragem, o asfalto parece molhado em um dia de Sol.



**Fontes:** (a) adaptado da referência <[http://www.apoioescolar24horas.com.br/salaaula/estudos/fisica/676\\_fenomenos\\_opticos/index.html](http://www.apoioescolar24horas.com.br/salaaula/estudos/fisica/676_fenomenos_opticos/index.html)> ; (b) .Wikipedia Miragem <<https://pt.wikipedia.org/wiki/Miragem>>.

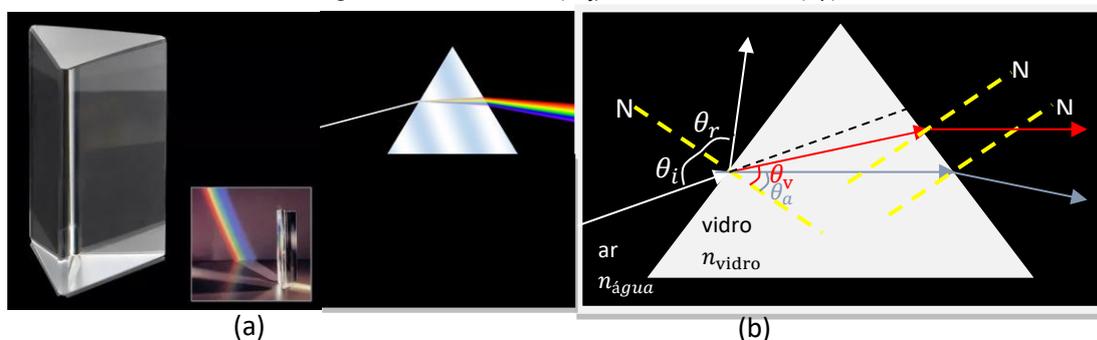
Apresenta-se a seguir, a teoria envolvida no **Prisma Óptico**.

Um prisma óptico é um prisma feito normalmente de vidro, ou outro material transparente como o acrílico. Há 3 tipos de prismas ópticos: dispersivo (refrata a luz), reflexivo (reflete a luz) e os polarizados (separa o feixe de luz)

Vejamos o referente à refração de luz, o Prisma Dispersivo. Com aplicabilidade de separar uma luz policromática (luz branca) em 7 feixes de luzes monocromáticas (7 cores diferentes) (Figuras A.22 (a) e (b)).

Tanto no caso do prisma óptico dispersivo quanto o fenômeno do Arco-íris estão relacionados com o espectro apresentado na Figura A1.1, em que a luz visível possui diversos comprimentos de onda. Dependendo do meio por onde a luz passa, esta dispersão causada pela refração do feixe de luz ao passar de um meio para outro para determinado ângulo de incidência.

**Figura A.22** – (a) Imagem fotográfica de um prisma óptico e a decomposição da luz branca; (b) um feixe de luz branca se decompondo nas cores: azul e vermelha. N são as normais a superfície do prisma, indicado também o ângulo de incidência ( $\theta_i$ ) e o de reflexão ( $\theta_r$ ) da luz.



**Fontes:** (a) Mercado livre- Prisma Óptico; e Wikipédia <[https://pt.wikipedia.org/wiki/Prisma\\_\(%C3%B3ptica\)](https://pt.wikipedia.org/wiki/Prisma_(%C3%B3ptica))>; (b) cedido por H. Mukai adaptado das referências: FRAGNITO e COSTA, 2010 e CESÁRIO, Refração da luz <<https://slideplayer.com.br/slide/1833485/>>.

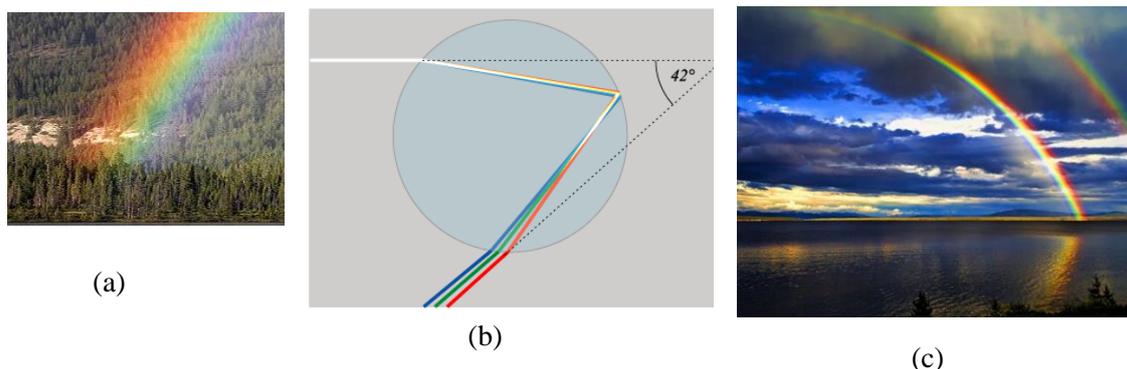
Quanto menor o comprimento de onda ( $\lambda$ ) maior o índice de refração ( $n$ ), como pode ser visto pela Equação (A.5), visto que a velocidade da luz depende do seu comprimento de onda ( $v = \lambda f$ , em  $f$  é a frequência de oscilação da onda).

A Figura A.22 (b) ilustra um feixe de luz branca incidindo em um dos vértices do prisma com um ângulo  $\theta_i$ . Uma parte sofre reflexão de um ângulo  $\theta_r$  que é igual ao de incidência, e a outra parte, é refratado ao passar do ar para o vidro, representada nas cores azul e vermelha, o mesmo ocorre com as demais cores que a luz branca é composta. Como  $n_{\text{água}} < n_{\text{vidro}}$ , os feixes refratados (vermelha e azul) se aproximam da normal (N) com ângulos  $\theta_v$  e  $\theta_a$ , sendo  $\theta_v > \theta_a$ .

Quando passam do vidro para o ar, ocorre o oposto, os feixes refratados, azul e vermelho se afastam da normal, abrindo em leque as cores da luz branca com ângulo de abertura maior do que ocorre internamente, mas na mesma sequência de cores. Sendo que a decomposição ocorre em 7 cores: vermelha, laranja, amarelo, verde, azul, índigo (anil) e violeta.

Ligado a essa decomposição da luz branca, está um efeito da natureza que é o Arco-íris (Figura A.23 (a)). Em que, o Sol está posicionado no lado oposto do centro do Arco-íris, atrás do observador, e a chuva entre o observador e o Arco-íris. Quanto mais o Sol estiver a pino menor o arco da curva, e quanto mais próximo do pôr do Sol maior o arco da curva. Em alguns casos é possível observar o círculo completo<sup>25</sup>, para isso o observador deve estar em um local mais alto do que o local de formação do Arco-íris. Destacando que os raios solares ao incidir nas gotas podem ser considerados paralelos uns em relação ao outro devido à distância ao Sol.

**Figura A.23** - (a) Foto de um Arco-íris; (b) desenho ilustrativo de uma gota de chuva, da refração da luz ao entrar, reflexão interna total e refração da luz ao sair, e (c) Foto de um duplo Arco-íris.



**Fonte:** (a) e (b) Wikipédia\_Arco-íris; (c) iGUi ECOLOGIA, 2018.

A luz do Sol ao incidir nas gotículas e gotas da chuva sofre o fenômeno da dispersão da luz por: refração quando a luz entra na gota, reflexão total dentro da gota, e nova refração ao

<sup>25</sup> Uma imagem desse efeito pode ser vista na referência: <<http://www.astropt.org/2014/10/09/arco-iris-circular/>>.

sair da gota. Quando o ângulo entre as refrações for de  $42^\circ$  a intensidade das cores é maior (Figura A.23(b)). Para o Arco-íris duplo (Figura A.23 (c)) em que no segundo arco as cores são em ordem invertida o ângulo está entre  $50^\circ$  a  $53^\circ$ . Este é formado quando ocorre mais de um processo refração, reflexão total e refração, denominado arco íris secundário.

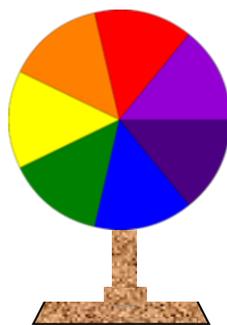
Conforme citado por Figueiredo, Descartes fez um experimento, para descrever o fenômeno do Arco-íris com uma esfera simulando a gota de água, e descreveu:

“Eu peguei uma caneta e fiz um cálculo acurado do conjunto de raios que incidiam em diferentes pontos do globo de água, para determinar em que ângulos, depois de duas refrações e uma ou duas reflexões eles chegarão ao olho, e então encontrei que após uma reflexão e duas refrações há muito maior número de raios que podem ser vistos em um ângulo de quarenta e um até quarenta e dois graus, do que em qualquer outro ângulo menor, e de que não há nenhum que possa ser visto em um ângulo maior”. É esta concentração de raios perto do menor desvio que dá origem ao arco do Arco-íris. Este raio é denominado de Raio Descartes ou do Arco-íris. (FIGUEIREDO, 2019)

As cores são as mesmas da dispersão em um prisma óptico, e para lembrar a ordem das cores, usam a frase mnemônica: “Vermelho LA VAI Violeta” (Wikipedia \_arco Iris).

Ligado aos experimentos de Descartes, está o de Newton, que em 1666, demonstrou o processo inverso, ou seja, que as 7 cores combinadas parecem branca aos olhos humanos. Para verificar esse efeito, basta confeccionar o disco de Newton (Figura A.24), e girar o mesmo.

**Figura A.24** – Desenho ilustrativo do disco de Newton.



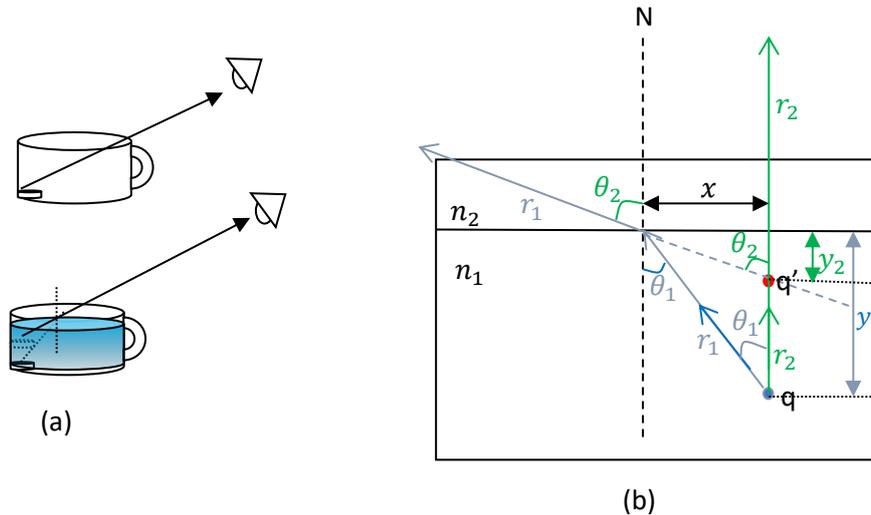
**Fonte:** adaptado do Wikipedia\_Disco de Newton.

E, por último apresenta-se o fenômeno da refração da profundidade aparente.

Este fato apresenta-se no experimento em que se coloca uma moeda em uma xícara, e de determinado ângulo o observador nada vê, ao colocar água na xícara, o mesmo consegue do mesmo ângulo observar a moeda (Figura A.25 (a)). Também observado na natureza por pescadores que usam lanças para pescar. O peixe parece estar em determinada posição, mas

está em outra mais profunda. Esses fenômenos são tratados pela OG. A Figura A.25 (b) apresenta o comportamento da luz no objeto.

**Figura A.25** – Desenho ilustrativo (a) visualização da moeda quando se coloca água na xícara, e (b) comportamento da luz, com o raio de luz saindo do objeto em azul  $r_1$  e verde  $r_2$ , sendo  $n_1$  o meio onde está o objeto e  $n_2$  o observador, N a normal a superfície,  $y_1$  e  $y_2$  a distância do objeto e da imagem à superfície (dióptro plano) respectivamente,  $x$  a distância da normal a posição do objeto (q)/imagem (q').



**Fonte:** Adaptado da ref. CESÁRIO, Refração da luz <<https://slideplayer.com.br/slide/1833485/>>.

Utilizando a Lei de Snell-Descartes (Eq. a.7),  $\frac{\text{sen } \theta_1}{\text{sen } \theta_2} = \frac{n_2}{n_1}$ . Considerando que os ângulos são pequenos,  $\text{sen } \theta \cong \text{tg } \theta$ :  $\text{tg } \theta_1 = \frac{x}{y_1}$  e  $\text{tg } \theta_2 = \frac{x}{y_2}$ ,  $\frac{y_1}{x} = \frac{n_2}{n_1}$ . Obtém-se que:  $\frac{y_1}{y_2} = \frac{n_2}{n_1}$ , ou considerando as profundidades  $y = d$ :

$$d_{real} = d_{aparente} \frac{n_{objeto}}{n_{observador}}. \tag{A.8}$$

**Exemplo A.3<sup>26</sup>** - Um peixe situado a uma distância aparente de 1,0 m abaixo da superfície da água, e uma pessoa observando de cima da superfície a 1,50 m, qual é a distância real do peixe do ponto de vista do observador?

**Resolução** - Utilizando a Eq. (A.7) tem-se que  $d_{real} = 1,0 \text{ m} \frac{1,33}{1} = 1,33 \text{ m}$ , da superfície. Logo para o observador deve-se adicionar a essa quantidade a altura em que seus olhos está situado 1,50m, portanto a 2,83 m.

Há também o ângulo limite  $\theta_L$  da qual ocorre a reflexão total da luz, e isso ocorre quando  $\theta_r = 90^\circ$ . Obtendo que  $n = \frac{1}{\text{sen } \theta_L}$  e reescrevendo-a:

$$\theta_L = \text{arc sen} \left( \frac{1}{n} \right). \tag{A.9}$$

<sup>26</sup> **Fonte:** Adaptado da ref. CESÁRIO, Refração da luz <<https://slideplayer.com.br/slide/1833485/>>.

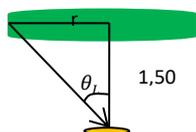
**Exemplo A.4<sup>20</sup>** - Qual o ângulo limite para que um pescador não visualize um peixe a uma profundidade de 1,50 m, escondido centralizado embaixo de uma vitória-régia? E qual deve ser o raio da vitória-régia?

**Resolução:** que o ângulo limite é dado pela Eq. (A.9):

Desenho ilustrativo da relação entre o ângulo limite e o raio da vitória-régia.

$$\theta_L = \text{arc sen} \left( \frac{1}{1,33} \right) = 48,8^\circ .$$

$$\text{tg} (48,8) = \frac{r}{1,50} \Rightarrow r = 1,71 \text{ m} .$$



Na próxima seção, apresenta-se o tema e conteúdo sobre lentes no contexto da Óptica Geométrica.

## A.4 LENTES

As lentes são dispositivos ópticos transparentes que funcionam com a propriedade da refração da luz. As mais comuns são: esféricas e do tipo convergentes ou divergentes; cilíndricas. O material de sua confecção varia: o mais comum sendo a de vidro/cristal (como as lentes de Layard que eram cristais utilizados como lentes a 721 a.C.), acrílico, policarbonato e resina.

As lentes esféricas caracterizam-se por apresentarem bordas espessas ou finas. São úteis comercialmente em óculos<sup>27</sup> para a correção de anomalias visuais, máquinas fotográficas, telescópio, filmadoras, binóculos, projetores etc. São convergentes quando direcionam a luz para um único ponto, como o caso de óculos e lupas usados para corrigir problemas visuais como a hipermetropia. E, divergentes, quando necessita expandir um feixe de luz ou expandindo o campo visual, cobrir um grande ambiente, como o caso dos olhos mágicos instalados em portas ou lentes de óculos para correção de miopia. No caso de astigmatismo também é utilizada a lente chamada de tórica ou cilíndrica, e não será teoricamente aqui explorado.

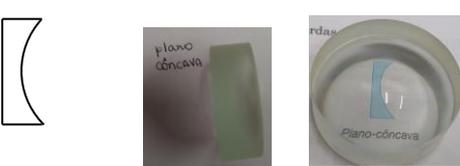
<sup>27</sup> O primeiro óculos surgiu no ano I d. C., primeiramente constituídos com um só aro, e sendo que os constituídos de 2 aros de acordo com fatos históricos foi inventado na Alemanha em 1270 e Itália 1280. A citação do uso da palavra óculos, é registrado em 1289, na Itália pela Família Popozo. O aparecimento das hastes para apoio nas orelhas aconteceu o século XVII. Já os bifocais devemos a Benjamim Frankilin quem inventou em 1785, atualmente chamados de multifocais. A produção e indicação por oftalmologistas iniciou em meados dos anos 1800. No Brasil trazido pelos Portugueses, iniciou se a indicação no século XVI. Fonte:< <https://www.sitedecuriosidades.com/curiosidade/quem-inventou-os-oculos.html>> Acesso: 25/09/2018.

### A.4.1 Tipos de Lentes Esféricas

Os tipos de lentes são classificados em Convergentes e Divergentes. Nas Figuras A.26 (a) a (f) estão apresentadas o desenho esquemático de cada uma delas e na maioria está também uma imagem fotográfica da lente e seu efeito. Segue a descrição de cada uma delas.

- 1) Convergentes (positivas) – as bordas são mais finas que o centro, e são dos tipos:
  - Biconvexa: duas partes convexas – Figura A.26 (a);
  - Plano-Convexa: um lado convexo e outro plano – Figura A.26 (b);
  - Côncavo-Convexa: um lado côncavo e outro convexo – Figura A.26 (c).
  
- 2) Divergentes (negativas) – se o centro é mais fino que as bordas e são dos tipos:
  - Bicôncava: 2 lados côncavas – Figura A.26 (d);
  - Plano-Côncava: 1 lado côncavo e outro plano – Figura A.26 (e);
  - Convexo-Côncava: 1 lado convexo e outro côncavo - Figura A.26 (f).

**Figura A.26** – Desenhos ilustrativos dos formatos dos tipos de lentes convexas e fotos: (a) biconvexa; (b) Plano-convexa e (c) côncavo-convexa e as lentes côncavas: (d) bicôncavas; (e) plano-côncava – de lado e na horizontal e a (f) convexo- côncava.

Lentes Convexas		Lentes Côncavas	
(a)		(d)	
(b)		(e)	
(c)		(f)	

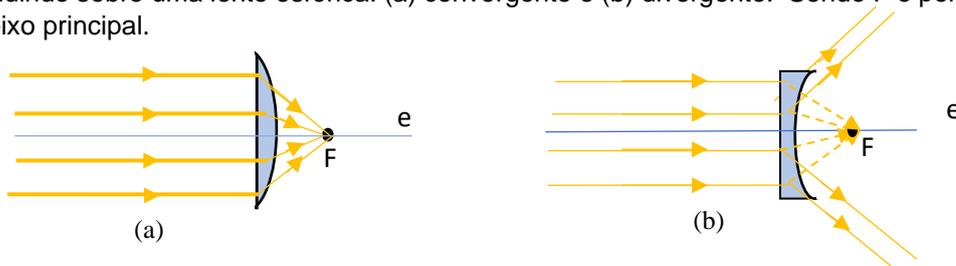
**Fonte:** elaborado pelo autor baseado na referência (YAMAMOTO e FUKU, 2016). As imagens foram cedidas por H. Mukai registradas com lentes do lab. de Física Experimental IV do DFI/UEM.

### 1.4.2 Comportamento Óptico

Ao incidir em uma lente um feixe de luz paralelo ao seu eixo principal, de acordo com sua refração e o tipo da lente, os raios convergem ou divergem:

- Lentes convergentes: são aquelas que aproximam os raios de luz que incidem sobre elas em um único ponto (foco) (Figura A.27 (a)).
- Lentes divergentes: são aquelas que sofrem dupla refração e divergem os raios de luz que incidem sobre elas (Figura A.27 (b)).

**Figura A.27** - Desenho esquemático ilustrando o comportamento óptico de um feixe de luz paralelo incidindo sobre uma lente esférica: (a) convergente e (b) divergente. Sendo F o ponto focal, e em azul o eixo principal.



**Fonte:** baseado na referência (YAMAMOTO e FUKU, 2016).

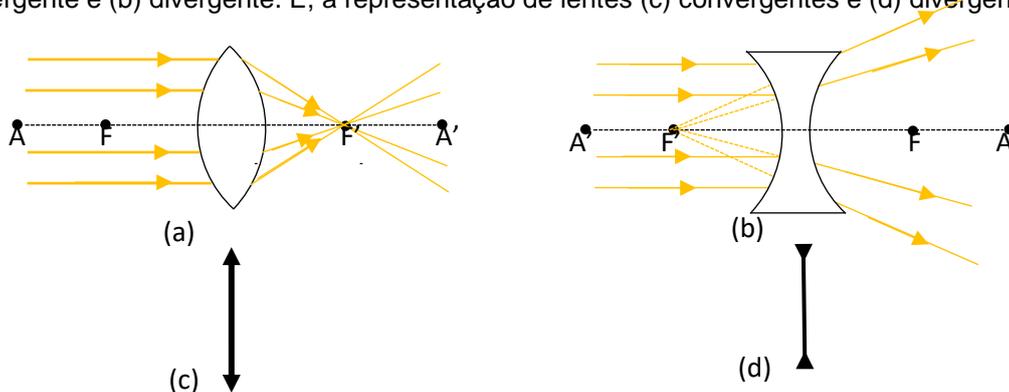
### A.4.3 Distância Focal de Uma Lente

Nas Figuras A.28 (a) e (b), sobre o eixo principal estão os seguintes pontos:

- Foco (F ou F') é definido como qualquer ponto para o qual converge ou diverge um feixe de luz. A distância focal ( $f$ ) é a medida do centro óptico até o foco (F ou F') da lente. Esta medida representa a metade da medida do centro da curvatura da lente.
- O ponto antiprincipal (A ou A') refere-se à medida equivalente a  $2f$  ( $A = 2f$ ), ou seja, duas vezes a distância entre a medida do foco da lente (F ou F') até a lente.

As Figuras A.28 (c) e (d) é a representação de lentes convergentes e divergentes, respectivamente.

**Figura A.28** - Desenho esquemático ilustrando o comportamento óptico de um feixe de luz paralelo incidindo sobre uma lente esférica sendo A e A' os pontos antiprincipal e F e F' os focos de lente: (a) convergente e (b) divergente. E, a representação de lentes (c) convergentes e (d) divergentes.



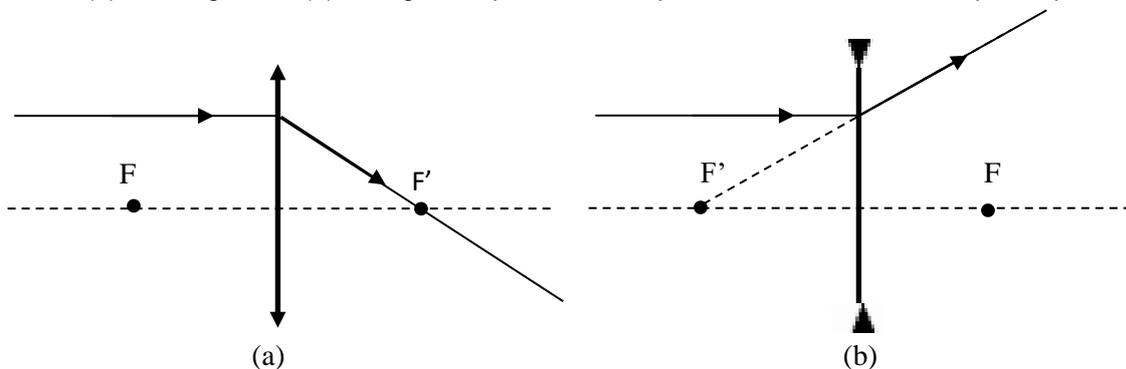
**Fonte:** baseado na referência (YAMAMOTO e FUKU, 2016).

#### A.4.4 Propriedades das Lentes Esféricas

De acordo com a incidência do raio de luz em uma das faces da lente, ele sofrerá refração e emerge na outra face conforme as características a seguir:

- Para um raio incidente paralelo ao eixo principal em uma lente convergente, este emerge na direção do foco principal imagem  $F'$ . Em uma lente divergente, este diverge a partir do foco principal imagem  $F'$ , Figura A.29 (a) e (b).

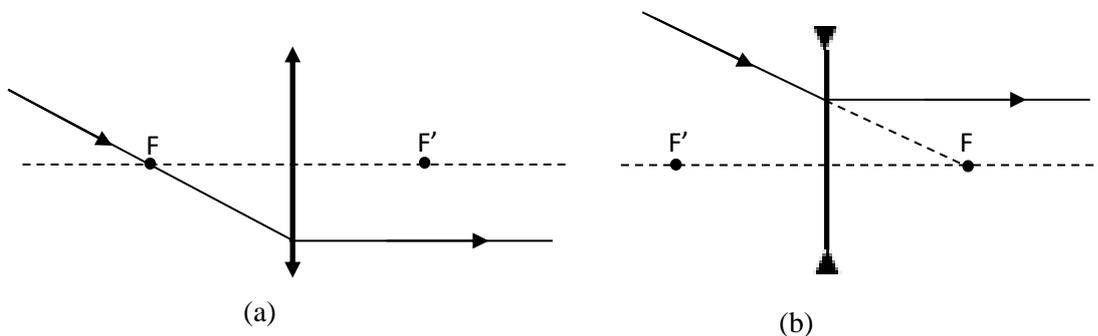
**Figura A.29** - Desenho esquemático representando a trajetória de um raio de luz incidente em uma lente, (a) convergente e (b) divergente, quando incide paralelamente na mesma, passa pelo foco  $F'$ .



**Fonte:** baseado na referência (YAMAMOTO e FUKU, 2016).

- Um raio de luz incidente na direção do foco principal  $F$  emerge paralelo ao eixo principal, Figura A.30 (a) e (b).

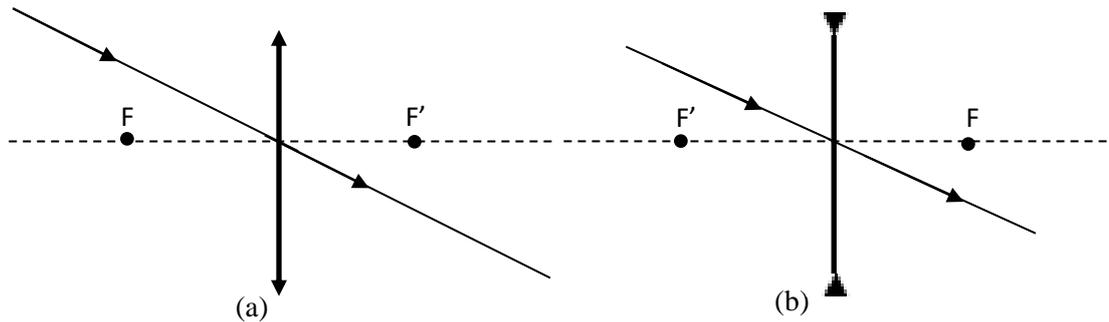
**Figura A.30** - Desenho esquemático representando a trajetória de um raio de luz incidente em uma lente: (a) convergente e (b) divergente, quando incide na direção do foco  $F$ .



**Fonte:** baseado na referência (YAMAMOTO e FUKU, 2016).

- Um raio de luz incidente na direção do centro óptico emerge sem sofrer desvios conforme ilustrado nas Figuras A.31 (a) e (b).

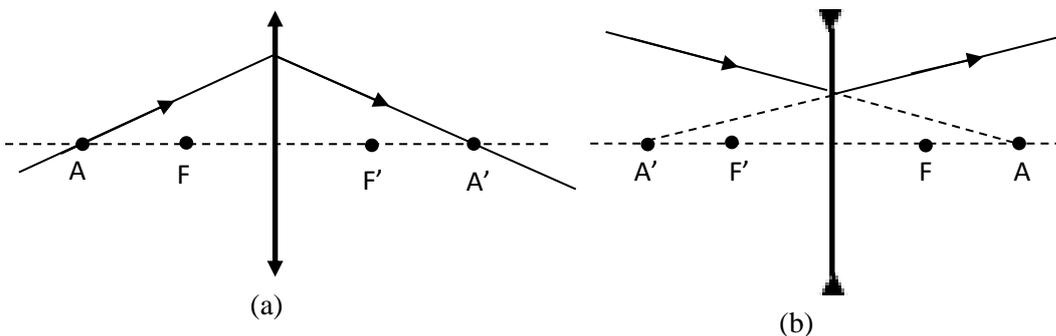
**Figura A31** - Desenho esquemático representando a trajetória de um raio de luz incidente a uma lente convergente (a) e divergente (b) quando incide na direção do centro óptico.



**Fonte:** baseado na referência (YAMAMOTO e FUKE, 2016).

- As Figuras A.32 (a) e (b) ilustram o comportamento de um raio de luz incidente na direção do ponto antiprincipal objeto A em uma lente, emerge na direção do ponto antiprincipal imagem A'.

**Figura A.32** - Desenho esquemático representando a trajetória de um raio de luz incidente a uma lente (a) convergente e (b) divergente, quando emerge do ponto antiprincipal (A e A'). Sendo, F e F' os pontos focais.



**Fonte:** baseado na referência (YAMAMOTO e FUKE, 2016).

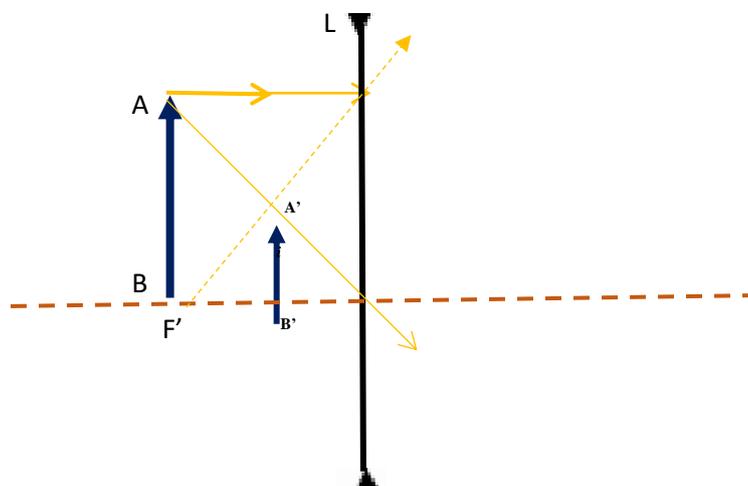
## A.4.5 Construção Geométrica de Imagens

Nesta subseção apresentam-se a construção geométrica de imagens de tamanho  $\overline{A'B'}$  em lentes divergentes e convergentes, para um objeto extenso de tamanho  $\overline{AB}$ . Sendo um tipo de representação para as lentes divergentes e cinco tipos para as lentes convergentes.

### A.4.5.1 Lentes Divergentes

Independentemente da posição do objeto (O), sendo  $\overline{AB}$  a sua altura e colocado diante de uma **lente L divergente**, teremos um único tipo de imagem (i) com  $\overline{A'B'}$  de altura e suas características serão: **virtual, direita e menor** que o objeto, Figura A.33.

**Figura A.33** - Desenho esquemático ilustrando o comportamento óptico de um objeto linear ( $\overline{AB}$ ) colocado diante de uma lente esférica divergente (L), cuja imagem é a  $\overline{A'B'}$ .

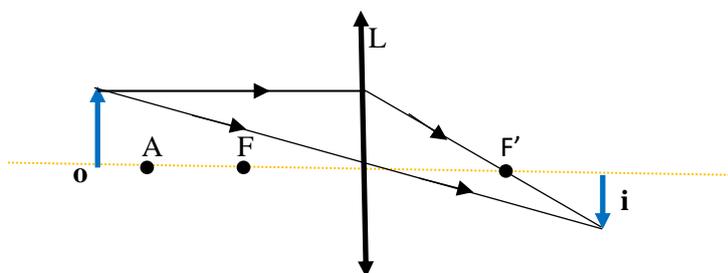


**Fonte:** baseado na referência (YAMAMOTO e FUKE, 2016).

#### A.4.5.2 Lentes Convergentes

- Para o objeto O posicionado à esquerda da lente L, antes do ponto antiprincipal objeto A, sua imagem i formada será: real, invertida e menor, Figura A.34.

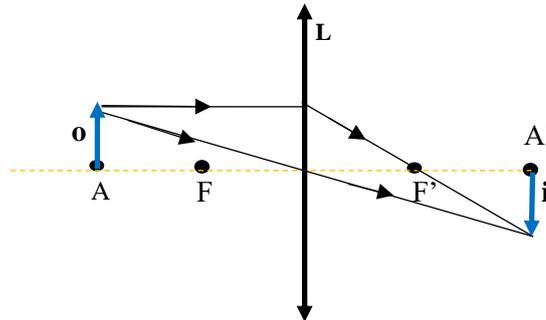
**Figura A.34** - Desenho esquemático ilustrando o comportamento óptico de um objeto linear posicionado antes do ponto antiprincipal objeto A. Sendo L a lente convergente.



**Fonte:** baseado na referência (YAMAMOTO e FUKE, 2016).

- Para o objeto O posicionado no ponto antiprincipal objeto A, a imagem i será: real, invertida e igual ao objeto, formada sobre o ponto antiprincipal imagem A' - Figura A.35.

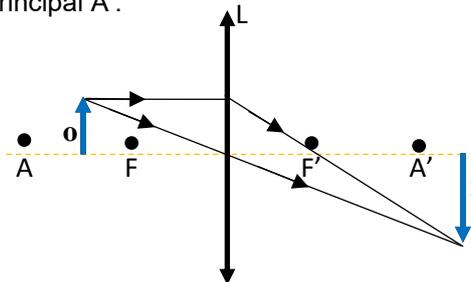
**Figura A.35** - Desenho esquemático ilustrando o comportamento óptico (O) de um objeto linear posicionado no ponto antiprincipal objeto A e a imagem i formada no ponto antiprincipal A'. Sendo L a lente convergente, e F e F' os pontos focais.



**Fonte:** baseado na referência (YAMAMOTO e FUKE, 2006).

- Para o objeto O, posicionado entre o ponto antiprincipal objeto A e o foco objeto F, a imagem i se formará após o ponto antiprincipal A' e será: real, invertida e maior que o objeto, Figura A.36

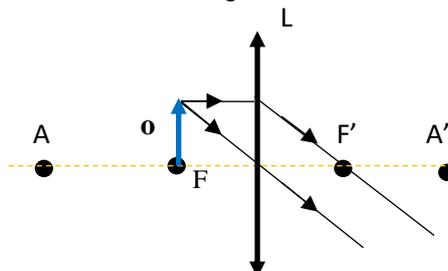
**Figura A.36** - Desenho esquemático ilustrando o comportamento óptico de objeto linear posicionado entre o ponto antiprincipal objeto A e o foco F. Sendo L a lente convergente e i a imagem invertida, maior e após o ponto antiprincipal A'.



**Fonte:** baseado na referência (YAMAMOTO e FUKE, 2006).

- Para o objeto O posicionado sobre o foco objeto F, a imagem i será: imprópria, se forma no infinito, (Figura A.37).

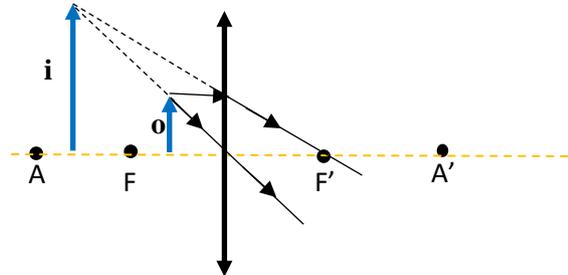
**Figura A.37** - Desenho esquemático ilustrando o comportamento óptico de objeto linear (O) posicionado sobre o foco F. A imagem i será formada no infinito. A e A' são os pontos antiprincipais objeto e imagem respectivamente, e F' o foco imagem.



**Fonte:** baseado na referência (YAMAMOTO e FUKE, 2006).

- Para o objeto  $O$  posicionado entre o foco  $F$  e o centro óptico, a imagem  $i$  será: virtual, direita e maior que o objeto, conforme indicado na Figura A.38.

**Figura A.38** - Desenho esquemático ilustrando o comportamento óptico de um feixe de luz paralelo incidindo sobre uma lente esférica. O objeto ( $O$ ), posicionado entre  $F$  e a lente, a imagem ( $i$ ) se forma entre o foco ( $F$ ) e o ponto antiprincipal ( $A$ ).



**Fonte:** baseado na referência (YAMAMOTO e FUKE, 2006).

Apresentado como se formam as imagens em lentes esféricas convergentes e divergentes, na próxima seção será apresentada os principais aspectos do globo ocular, suas anomalias e explorar como a imagem se forma no olho humano.

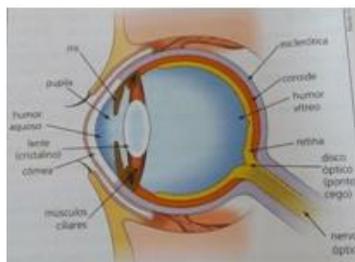
## A.5 Formação de Imagem no Olho Humano

Nesta seção apresentar-se-á a estrutura do globo ocular e algumas anomalias da visão. Bem como alguns tipos de lentes esféricas utilizados em sua correção.

### A.5.1 O Olho Humano

O motivo da apresentação desta subseção é devido no PE umas das propostas experimentais ter sido a da construção de um protótipo de olho humano e a observação da formação da imagem no mesmo, logo, uma aplicação da compreensão da formação de imagens em lentes com fatos do cotidiano. A estrutura do globo ocular possui um formato praticamente esférico. Os olhos estão alojados em cavidades orbitais da face e apresentando da parte externa para o sentido da cavidade (YAMAMOTO e FUKE, 2016), e é composto por (Figura A.39).

**Figura A.39** - Imagem esquemática ilustrando um olho humano, seus elementos estão sem proporção entre si e suas cores são ilustrativas.



**Fonte:** Adaptado da ref. (YAMAMOTO e FUKE, 2016).

- Córnea: membrana transparente localizada à frente da íris.
- Íris: parte colorida do olho tem como principal função controlar os níveis e luz que entra nos olhos, similar ao diafragma de uma câmera fotográfica.
- Pupila: é a abertura central da íris, de acordo com a luminosidade ambiente, varia o seu diâmetro, controlando a entrada de luz nos olhos.
- Humor aquoso: líquido transparente que regula a pressão da membrana intraocular.
- Cristalino: estrutura transparente com formato de lente biconvexa funciona como uma lente sendo capaz de aumentar o grau, para focalizar imagens.
- Músculos ciliares: sua função é sustentar o cristalino e modificar seus raios de curvatura.

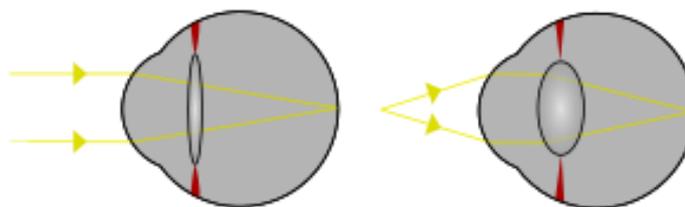
#### **Parte posterior:**

- Esclerótica: membrana opaca que reveste quase todo o globo ocular.
- Coroide: situa-se entre a esclerótica e a retina, sua função é servir como um canal de nutrição da retina.
- Humor vítreo: substância incolor, transparente e gelatinosa, sua função é manter a forma esférica do olho.
- Retina: camada de natureza nervosa, sensível à luz, ligado ao nervo óptico.
- Disco óptico: região de convergência das fibras nervosas que compõe o nervo óptico e a retina.
- Nervo óptico: conjunto de estrutura cuja função é transmitir as sensações luminosas ao cérebro.

### **1.5.2 Formação de Imagem**

A imagem é formada no fundo dos olhos (sobre a retina), e a forma como os olhos focam a luz está ilustrada na Figura A.40 (a) quando a luz chega paralela e, (b) de um único ponto.

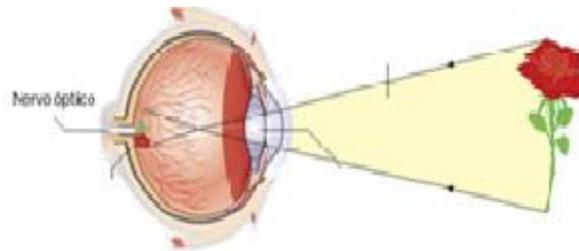
**Figura A.40** – Figura ilustrativa de como os olhos focam a luz: (a) paralelos e de (b) um único ponto, a imagem de forma no fundo dos olhos, sobre a retina.



**Fonte:** Adaptado da ref. Wikipedia\_olho: <<https://pt.wikipedia.org/wiki/Olho>> .

A imagem é normalmente: **real, invertida e menor que o objeto** (Figura A.40) e formada sobre a retina após passar pelo cristalino que funciona como uma lente biconvexa.

**Figura A.41** – Ilustração da formação de imagem no olho humano.



**Fonte:** Adaptado da ref. explicatorium\_olho humano < <http://www.explicatorium.com/cfq-8/olho-humano.html> > , acesso 10/10/2019.

### 1.5.3 Acomodação Visual

Acomodação visual é a variação da distância focal para obter imagens nítidas.

- A mínima distância da visão para que uma pessoa possa ver, é denominada **campo mínimo visual**, nestas condições, os nervos ciliares estão contraídos ao máximo.
- A máxima distância possível da visão para que uma pessoa possa ver, denominada **campo máximo visual**, nestas condições, os músculos ciliares estão totalmente relaxados.

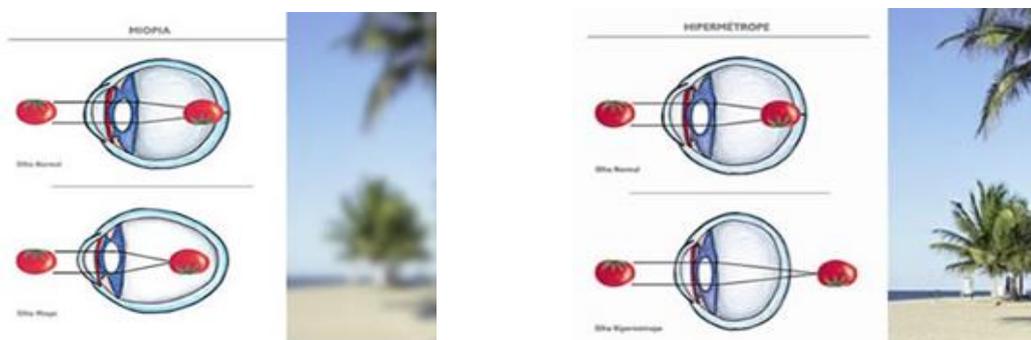
### A.5.4 Anomalias da Visão e Tipos de Lentes para Correção

Citam-se as sete anomalias mais conhecidas, onde se forma a imagem, o motivo e como se corrige quando possível por meio de lentes:

**Miopia:** achatamento do globo ocular, perpendicularmente ao seu eixo óptico, o globo ocular é alongado. A imagem se forma “atrás” da retina, Figura A.42 (a). Correção: uso de lentes divergentes, no caso a bicôncava.

**Hipermetropia:** achatamento do globo ocular, longitudinal ao seu próprio eixo, o olho é encurtado (Figura A.42 (b)). Correção: Lentes convergentes, a biconvexa, esta fará com que a imagem se forme sobre a retina.

**Figura A.42** – Imagem ilustrativa de como se forma a imagem para (a) um olho normal e um míope e como o míope visualiza uma imagem longe embaçado como apresentado, e perto nítido e (b) um olho normal e outro com hipermetropia, enxerga nítido a longa distância e embaçado perto.



**Fonte:** Adaptado da ref. Brasil escola <<https://brasilecola.uol.com.br/fisica/defeitos-na-visao-humana.html>>, acesso: 11/10/2019.

**Presbiopia:** conhecida popularmente de vista cansada, é o endurecimento do cristalino do olho e, por conseguinte, tem a perda da capacidade da acomodação visual. A imagem de forma atrás da retina. Com isso dificulta enxergar de perto. **Correção:** uso de lentes convergentes, assim como a hipermetropia.

**Astigmatismo:** anomalia na córnea, com raios de curvatura irregulares, o que ocasiona uma visão manchada (sem foco) dos objetos. A **correção** é feita utilizando-se lentes cilíndricas.

**Estrabismo:** incapacidade de dirigir para um mesmo ponto os eixos ópticos dos olhos; Uso de lentes prismáticas, e dependendo do caso podem ser corrigidas por meio de exercícios visuais.

**Catarata:** perda de transparência do cristalino do olho, que se torna opaco. Resolvido com cirurgia substituindo o cristalino por uma lente.

**Daltonismo:** defeito de causas genéticas que impede a percepção de algumas ou todas as cores.

## REFERÊNCIAS

BONJORNO, C.; PRADO, E. C.. Componente curricular: Física. Física: termologia, óptica, ondulatória, 2º ano. -- 2. ed. -- São Paulo: FTD, 2013.

BONJORNO, R. A.; BONJORNO, J. R.; BONJORNO V.; RAMOS, C. M.. **Física Completa – Volume único**; ensino médio / -- 2. ed -- São Paulo: FTD, 2001.

EDUCABRAS, ESPELHOS ESFÉRICOS - ESPELHO ESFÉRICO DE GAUSS, 2018, Disponível em: <[https://www.educabras.com/vestibular/materia/fisica/optica/aulas/espelhos\\_esfericos\\_espelho\\_esferico\\_de\\_gauss](https://www.educabras.com/vestibular/materia/fisica/optica/aulas/espelhos_esfericos_espelho_esferico_de_gauss)> . Acessado em 25/09/2019.

ESCOLA DE EDUCAÇÃO BÁSICA PROF. JOSÉ ARANTES, **Experimentos de Física – 2. Reflexão da Luz - “Pente reflexivo”** – 2009. Disponível em: <<http://fisicanoja.blogspot.com/2009/10/2-reflexao-da-luz.html>>. Acesso em 01 de janeiro de 2017.

FIGUEIREDO, O. S.. Além do Arco íris, 2019. disponível no site: <<https://sites.ifi.unicamp.br/laboptica/curiosidades-2/arco-iris/>> Acessado em 25 de setembro de 2019.

FRAGNITO H. L. e COSTA, A. C., Dispersão da Luz por um Prisma, Unicamp – IFGW, Janeiro 2010. Disponível em <<https://sites.ifi.unicamp.br/hugo/files/2013/12/prism.pdf>>. Acessado em 25 de setembro de 2019.

HALLIDAY, D., RESNICK, R. , WALKER, J., **Fundamentos de Física, volume 4: Óptica e Física moderna** - tradução e revisão técnica Ronaldo Sérgio de Biasi – Rio de Janeiro: LTC, 2009.

iGUi ECOLOGIA, Como os arco Iris são formados, 2018. Disponível em: <<https://www.iguiecologia.com/como-os-arco-iris-sao-formados/>>. Acessado em 25/09/2019.

MOURA, B. A., Newton versus Huygens: como (não) ocorreu a disputa entre suas teorias, para a luz, Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 33, n. 1, p. 111-141, abr. 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.5007/2175-7941.2016v33n1p111>

NUSSENZVEIG, H. M.. Curso de Física Básica – Vol.4 - **Ótica, Relatividade e Física Quântica** – 1ª edição – São Paulo: Editora Blücher, 1998.

SANTOS, M. A.. Conhecendo o olho humano: um protótipo usado para o ensino de Física voltado para a educação de jovens e adultos. 133 fs. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) – Departamento de Física, Universidade Estadual de Maringá, Paraná: Maringá. 2016.

WIKIPEDIA\_ARCO IRIS, Arco-Íris, < <https://pt.wikipedia.org/wiki/Arco-%C3%ADris>>. Acessado em 02/0/2019

WIKIPEDIA\_DISCO DE NEWTON, Disco de Newton, <[https://pt.wikipedia.org/wiki/Disco\\_de\\_Newton](https://pt.wikipedia.org/wiki/Disco_de_Newton)>; acessado em 25/08/2019;

YAMAMOTO, K., FUKUE, L. F., **Física para o ensino médio, vol.2: termologia, óptica, ondulatória** - 4.ed -- São Paulo: Saraiva, 2016.