



**CONFECÇÃO DE LENTES ESFÉRICAS POR INTERMÉDIO DE UMA
CORTADORA CNC LASER: UMA APLICAÇÃO DE METODOLOGIA ATIVA
PARA O ESTUDO DA ÓPTICA GEOMÉTRICA NO ENSINO MÉDIO**

Marco Aurélio Duque de Lima

O PRODUTO EDUCACIONAL

Orientador: Prof. Dr. Antonio Carlos da
Silva Miranda.

Recife

2020

1. Apresentação

Prezado (a) colega professor (a), este trabalho nasceu da necessidade que verificamos, ao longo de mais de duas décadas atuando na linha de frente do ensino de Física, de se adotar um caráter mais experimental nas aulas, e, em específico, no ensino da óptica geométrica. Com base nessa necessidade, apresentamos uma sequência didática, que, amparada na teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel (1968), tem por objetivo principal disponibilizar uma ferramenta que possa auxiliar os docentes durante suas aulas sobre lentes esféricas, de modo que a apresentação expositiva dos conceitos possa dialogar, em tempo real, com a verificação experimental prática.

Ademais, essa sequência didática fundamenta-se nas metodologias ativas, nas quais o estudante passa a ter um papel de maior protagonismo durante o processo didático, proporcionando uma aprendizagem bem mais significativa e consolidada. Vale salientar, ainda, que a intenção desse produto educacional não é constituir um modelo engessado em sua metodologia, mas sim oferecer um recurso que permite adaptações conforme as necessidades de onde, por ventura, ele for aplicado.

Esta sequência didática foi dividida em cinco etapas, nas quais os estudantes são submetidos a um pré-teste (anexo no apêndice A) e a um pós-teste (anexo no apêndice B), para a comparação do domínio e da assimilação dos conteúdos referentes às lentes esféricas, antes e após a aplicação do experimento. Os estudantes também confeccionam lentes esféricas, submetendo-as à incidência de raios lasers, verificando, assim, o comportamento óptico desses raios ao atravessarem as lentes. Em seguida os estudantes fazem algumas constatações matemáticas acerca do experimento, em formulário próprio (anexo no apêndice C), através da utilização da equação de Halley, com o objeto de calcular o índice de refração do material que compõe as lentes.

Destarte, este produto educacional é parte integrante da dissertação de mestrado do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), sediada na Universidade Federal Rural de Pernambuco, pólo 58, em convênio com a Sociedade Brasileira de Física. “O presente trabalho foi

realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de financiamento 001”. Essa dissertação se intitula: **“CONFEÇÃO DE LENTES ESFÉRICAS POR INTERMÉDIO DE UMA CORTADORA CNC LASER: UMA APLICAÇÃO DE METODOLOGIA ATIVA PARA O ESTUDO DA ÓPTICA GEOMÉTRICA NO ENSINO MÉDIO”**, sob a orientação do Prof. Dr. Antonio Carlos da Silva Miranda.

2. Fundamentação teórica

3.1 A Óptica: Conceitos e classificações

Em seus estudos, os autores Halliday, Resnick e Walker (2016), ao se debruçarem sobre a óptica e suas relações com a Física, pontuam que:

um dos objetivos da física é descobrir as leis básicas que governam o comportamento da luz, como a lei de refração. Um objetivo mais amplo é encontrar aplicações práticas para essas leis; a aplicação mais importante é provavelmente a produção de imagens. (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2016, p. 105)

Ainda, conforme os autores supracitados:

as primeiras imagens fotográficas, produzidas em 1824, eram meras curiosidades, mas o mundo moderno não pode passar sem imagens. Grandes indústrias se dedicam à produção de imagens nas telas dos aparelhos de televisão, computadores e cinemas. (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2016, p.105).

Como essa pesquisa, em particular, versa sobre o comportamento dos raios luminosos ao atravessarem os sistemas ópticos denominados de lentes esféricas, entendemos que é pertinente começar a fundamentação física trazendo uma abordagem sobre o conceito de óptica geométrica.

Segundo Biscuola, Doca e Newton (2012, p. 296), a óptica, para efeitos didáticos, divide-se em:

- **Óptica geométrica** - estuda os fenômenos ópticos com enfoque nas trajetórias seguidas pela luz. Fundamenta-se na noção de raio de luz e nas leis que regulamentam seu comportamento.
- **Óptica física** - estuda os fenômenos ópticos que exigem uma teoria sobre a natureza constitutiva da luz.

3.2. Introdução à óptica geométrica

A óptica geométrica, além de analisar o comportamento dos raios luminosos ao se propagarem em certos meios, também estuda o comportamento desses raios ao incidirem em determinados objetos, mudando, assim, o meio de propagação. Cabe, ainda, ao estudo da óptica geométrica vivenciar fenômenos como reflexão, refração, dispersão e, além disso,

esmiuçar o comportamento dos raios de luz em alguns sistemas ópticos como espelhos, prismas e lentes.

As fontes luminosas são aquelas que emitem luz. Porém, vale salientar que nem sempre essas fontes emitem luz própria, podendo, assim, ser divididas em dois grupos, a saber: primárias, quando emitem luz própria; e secundárias, quando emitem luz proveniente de outras fontes. Nesse sentido, se a óptica geométrica trata do comportamento da trajetória da luz através de seus raios luminosos, faz-se necessário tecer uma definição para raios de luz. Para Biscuola, Doca e Newton (2012, p. 298), o “raio de luz é uma linha orientada que tem origem na fonte de luz e é perpendicular às frentes de luz. Os raios de luz indicam a direção e o sentido de propagação da luz em um meio ou sistema”.

A óptica geométrica é regida por três princípios, que são: o princípio da independência dos raios luminosos, que afirma que um raio de luz não interfere na trajetória de outro raio de luz; o princípio da irreversibilidade dos raios de luz, que afirma que o sentido da trajetória de um raio de luz é reversível; e, por último, o princípio da propagação retilínea, que afirma que nos meios transparentes, homogêneos e isotrópicos a luz se propaga em linha reta.

3.3. A Refração da luz

3.3.1. Conceito e implicações

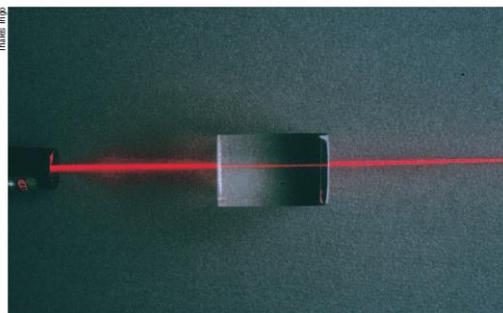
Para dar continuidade a nossa fundamentação teórica acerca da óptica geométrica, trataremos agora do fenômeno denominado refração luminosa. Ramalho Júnior, Nicolau e Toledo (2015, p. 309) definem refração da luz “como a variação de velocidade sofrida pela luz ao passar de um meio de propagação para outro”. No estudo da refração, é importante salientar que as cores das luzes dependem da frequência da onda luminosa. No intervalo de frequências da luz visível, são detectadas as cores: vermelha, alaranjado, amarelo, verde, azul, anil e violeta. Se todas essas cores forem emitidas ao mesmo tempo, haverá uma sensação da tonalidade branca. De acordo com Biscuola, Doca e Newton (2012), uma:

luz monocromática é aquela constituída de ondas eletromagnéticas de uma única frequência, ou seja, de uma única cor, enquanto que uma luz policromática é aquela constituída de ondas eletromagnéticas de várias frequências distintas, ou seja, de várias cores” (BISCUOLA; DOCA; NEWTON, 2012, p. 368).

A figura 1 ilustra dois exemplos de luz monocromática e policromática, vejamos:

Figura 1: Exemplo de uma luz monocromática e de uma luz policromática

a) Luz monocromática



b) Luz policromática



Fonte: BISCUOLA; DOCA; NEWTON, 2012, p. 368.

3.3.2. Índice de refração de um meio

O índice de refração é uma grandeza física de imensa importância no estudo da óptica geométrica. Para cada meio aonde a luz se propaga, está associado um índice de refração, que determina a relação de refração nesse meio. O índice de refração de um meio é calculado pela razão entre a velocidade da luz no vácuo e a velocidade da luz no referido meio, sendo, portanto, uma grandeza adimensional. Pelo exposto, temos:

$$n = \frac{c}{v_{meio}} \quad (3.1)$$

Onde:

n – Representa o índice de refração do referido meio de propagação da luz.

c – Representa a velocidade de propagação da luz no vácuo.

v – Representa a velocidade de propagação da luz no referido meio.

O índice de refração do vácuo é igual a 1,0, enquanto que, para os demais meios, o índice de refração é um valor maior que 1,0, ou seja, $n > 1,0$.

O índice de refração de um meio material depende da frequência da luz que se propaga, apresentando um valor máximo para a luz violeta e um valor mínimo para a luz vermelha. Um caso curioso é a chamada continuidade óptica, ou seja, quando dois meios possuem o mesmo índice de refração absoluto. No exemplo ilustrado na figura 2, vimos o recipiente da esquerda contendo água e uma barra de vidro imersa nessa água. Como os valores dos índices de refração do vidro e da água são diferentes, esse bastão pôde ser visualizado. No recipiente da direita, foi colocada uma substância conhecida como tetracloroetileno (C_2Cl_4), que possui o mesmo índice de refração do vidro. Nessa situação, os dois meios se comportam como se fossem um único meio, não permitindo, assim, a diferenciação entre o vidro e o tetracloroetileno:

Figura 2: Exemplo de continuidade óptica



Fonte: RAMALHO JÚNIOR; NICOLAU; TOLEDO, 2015, p.310.

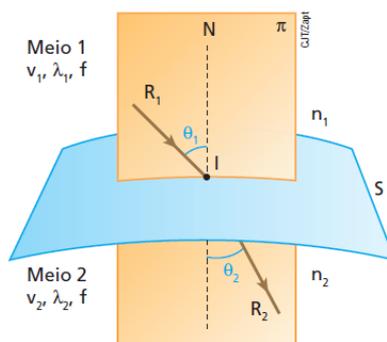
3.3.3. As leis da refração luminosa

Numa refração, temos a presença de alguns elementos, como raio incidente, raio refratado e a reta normal, que recebe esse nome por ter direção perpendicular à superfície de separação entre os dois meios. Nesse momento, cabe um comentário sobre o conjunto dos dois meios onde acontecerá a refração. Esse conjunto de dois meios pode ser separado por superfície plana ou não plana. Esse conjunto de dois meios separados por uma superfície recebe o nome de dióptro. Bisciola, Doca e Newton (2012, p. 371) definem

dióptro como sendo “um sistema de dois meios transparentes de diferentes refrefrências, que fazem entre si fronteira regular”.

A refração da luz é regida por duas leis. Essas leis versam sobre os elementos presentes em uma refração, como índice de refração dos meios, velocidade de propagação da luz, ângulo de incidência, ângulo de refração, raio incidente, o raio refratado e a reta normal. Para fins elucidativos, observaremos na figura 3 uma ilustração de uma refração ocorrida entre dois meios:

Figura 3: Ilustração de uma refração ocorrida pela luz ao atravessar dois meios



Fonte: BISCUOLA; DOCA; NEWTON, 2012, p. 371.

Diante do acima exposto, podemos dizer que as leis da refração são duas, a saber:

- **1ª Lei:** O raio incidente I , o raio refratado R e a normal N à superfície de separação, todos pertencem a um mesmo plano.
- **2ª Lei:** (Snell-Descartes): Para cada par de meios e para cada luz monocromática que se refrata, é constante o produto do seno do ângulo que o raio forma com a normal e o índice de refração do meio em que o raio se encontra.

$$n_1 \text{sen} \theta_1 = n_2 \text{sen} \theta_2 \quad (3.2)$$

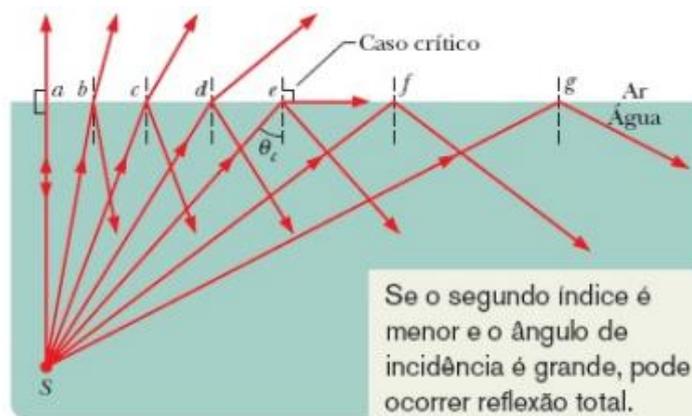
Através da 2ª lei da refração, podemos descrever o comportamento de um raio luminoso ao sofrer uma refração. Ou seja, podemos ter três situações:

1. Quando a luz passa de um meio menos refringente para um meio mais refringente, o raio luminoso se aproxima da normal.
2. Quando a luz passa de um meio mais refringente para um meio menos refringente, o raio luminoso se afasta da normal.
3. Quando a luz incide sobre a reta normal, não há desvio do raio refratado.

3.3.4. Ângulo crítico e Reflexão interna total

Um aspecto importante no estudo da refração da luz é o fato de que em algumas condições a luz pode sofrer reflexão total ao invés de refração. A figura 4 mostra algumas situações que vão ocorrendo com os raios luminosos quando vão sendo alterados os ângulos de incidência:

Figura 4: Refração e reflexão total ocorrida entre a água e o ar



Fonte: HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2016, p. 70.

O ângulo crítico é atingido quando o ângulo de refração atinge 90° , ou seja, $\theta_2 = 90^\circ$. Então nessa situação o ângulo de incidência θ_1 recebe o nome de ângulo limite ou ângulo crítico, podendo ser determinado pela aplicação da lei de Snell.

$$n_1 \text{sen} \theta_c = n_2 \text{sen} 90^\circ \quad (3.3)$$

$$\theta_c = \text{sen}^{-1} \left(\frac{n_2}{n_1} \right) \quad (3.4)$$

Desta forma, como comentado anteriormente, há condições para que o raio de luz sofra reflexão total. Há duas condições primordiais para um raio de luz sofrer reflexão interna total, a saber:

1ª Condição: O raio luminoso deve incidir de um meio mais refringente para um meio menos refringente, ou seja, $n_1 > n_2$.

2ª Condição: O ângulo de incidência deve ser maior que o ângulo crítico, ou seja,

$$\theta_1 > \theta_2.$$

No cotidiano, uma das grandes aplicações do fenômeno da reflexão total é o uso das fibras ópticas, principalmente na telefonia.

3.4. Lentes esféricas

3.4.1. Conceito

É inegável a importância das lentes no cotidiano das pessoas. Elas podem ser encontradas em vários equipamentos necessários à sociedade como um todo. Como analisa Biscuola, Doca e Newton (2012):

não se sabe ao certo quando surgiram as primeiras lentes, há relatos de que no século VIII a.C. utilizavam-se determinados cristais polidos capazes de produzir imagens ampliadas de objetos. A partir do século XIII, porém, iniciou-se na Itália a fabricação regular de lentes, destinadas principalmente à correção visual. Teria sido o florentino Salvino D'Armati, em 1285, o primeiro fornecedor do que hoje chamamos de óculos. (BISCUOLA; DOCA; NEWTON, 2012, p. 411)

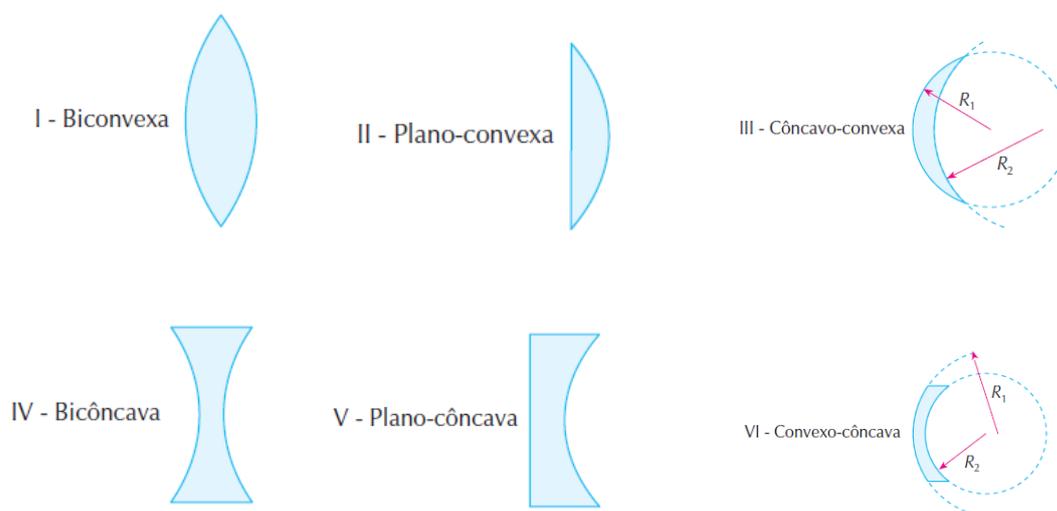
Adiante, iremos analisar algumas definições apresentadas para as lentes. Segundo Halliday, Resnick e Walker (2016, p. 128), "lente é um objeto

transparente, limitado por duas superfícies refratoras com um eixo central em comum”. Já Biscuola, Doca e Newton (2012, p. 411) definem especificamente as lentes esféricas como sendo “uma associação de dois dióptros: um necessariamente esférico e o outro plano ou esférico”. Para Ramalho Júnior, Nicolau e Toledo (2015, p. 345), “as lentes esféricas são sistemas ópticos constituídos por três meios homogêneos e transparentes separados por uma superfície esférica e outra plana ou por duas superfícies esféricas”. Quando a espessura da lente, é desprezível em relação aos raios de curvaturas das suas faces esféricas, essas lentes recebem o nome de lentes delgadas.

3.4.2. Classificação das lentes esféricas

Em relação às bordas, as lentes delgadas se dividem em dois grandes grupos, a saber, as de bordas finas e as de bordas grossas, como ilustra a figura 5:

Figura 5: Ilustrações de lentes de bordas finas e de bordas grossas

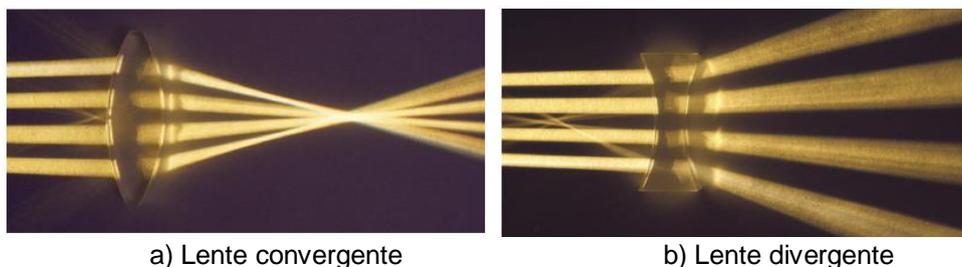


Fonte: RAMALHO JÚNIOR; NICOLAU; TOLEDO, 2015, p. 346.

Em relação ao comportamento óptico das lentes esféricas, elas se classificam em convergentes ou divergentes. Nas lentes convergentes, os raios que incidem paralelos ao eixo principal da lente, refratam com direções que convergem para um ponto específico. Já nas lentes divergentes, os raios que incidem paralelos ao eixo principal da lente, refratam com direções que

divergem, porém os seus prolongamentos convergem para um ponto específico. A figura 6 mostra raios luminosos atravessando uma lente convergente e raios luminosos atravessando uma lente divergente:

Figura 6: Raios de luz apresentando comportamentos convergentes e divergentes ao atravessarem lentes diferentes



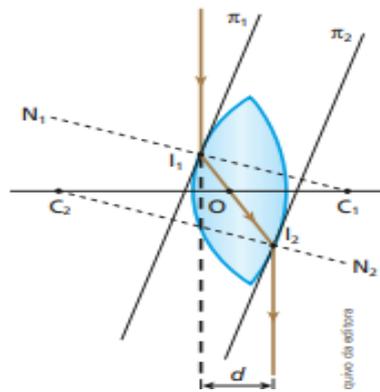
Fonte: BISCUOLA; DOCA; NEWTON, 2012, p. 413.

É importante frisar que qualquer lente pode ter comportamento convergente ou divergente. Um dos fatores que determina esse comportamento é a relação entre o índice de refração da lente e o índice de refração do meio onde a lente está imersa. Os autores Biscuola, Doca e Newton (2012, p. 413) resumem essa relação entre comportamento óptico da lente e índices de refração, como: “se a lente é mais refringente que o meio externo, temos: bordas finas — convergentes; bordas grossas — divergentes. Esse é o caso mais comum. Se a lente é menos refringente que o meio externo, temos: bordas finas — divergentes; bordas grossas — convergentes, sendo esse caso menos comum”.

3.4.3. Elementos de uma lente esférica

a) Centro óptico

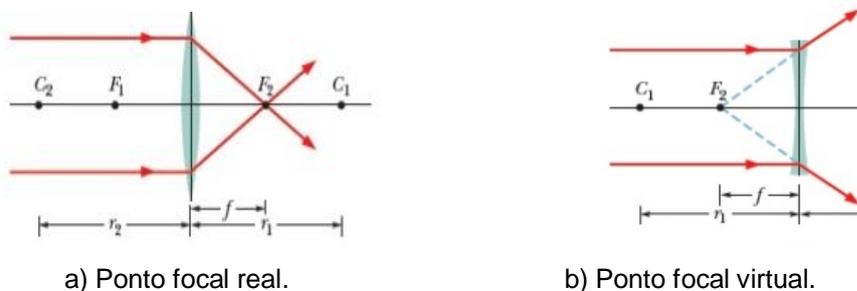
Esse ponto é o local da lente onde os raios luminosos que incidem nesse ponto refratam sem sofrer desvio. Nas lentes de faces simétricas, esse ponto corresponde ao centro geométrico da peça. A figura 8 ilustra o centro óptico de uma lente esférica biconvexa:

Figura 7: Raios de luz atravessando uma lente pelo centro óptico

Fonte: BISCUOLA; DOCA; NEWTON, 2012, p. 546.

b) Foco principal

Quando um raio de luz atravessa uma lente ele sofre duas refrações, uma em cada face da lente. Como vimos anteriormente, raios luminosos refratados numa lente convergente se cruzam num ponto específico. A esse ponto se dá o nome de ponto focal real, já que é obtido pelo cruzamento efetivo dos raios de luz. Já nas lentes divergentes, o cruzamento dos prolongamentos dos raios refratados dá-se em um ponto denominado ponto focal virtual. A distância entre cada ponto focal e o centro óptico da lente recebe o nome de distância focal, podendo receber sinal positivo ou negativo, dependendo do tipo de lente em questão. A figura 8a ilustra os raios luminosos se cruzando no ponto focal F_2 de uma lente convergente, enquanto a figura 8b ilustra o cruzamento dos prolongamentos dos raios no ponto focal F_2 :

Figura 8: Ponto focal em uma lente convergente e ponto focal em uma lente divergente

a) Ponto focal real.

b) Ponto focal virtual.

Fonte: HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2016, p.130.

c) Pontos antiprincipais

Outro ponto a ser destacado nas lentes esféricas são os chamados pontos antiprincipais, localizados sobre o eixo principal da lente. A distância entre esses pontos antiprincipais e o centro óptico corresponde ao dobro da distância focal da lente. Os raios luminosos que incidirem sobre um ponto principal de uma lente irão se refratar sobre o outro ponto antiprincipal da lente. Esse ponto corresponde ao centro da esfera de onde a lente foi obtida. Então podemos dizer que a distância entre o ponto antiprincipal e o centro óptico da lente corresponde ao raio de curvatura dessa lente.

3.4.4. Raios luminosos particulares

Nas lentes existem alguns raios que possuem comportamentos particulares ao atravessar essas lentes, dependendo da forma que esses raios de luz incidem. Esses raios particulares são de extrema importância para a obtenção da construção geométrica das imagens nas lentes esféricas. Vamos analisar esses raios particulares:

1º raio particular: todo raio luminoso que incide no centro óptico se refrata sem sofrer desvio.

2º raio particular: todo raio luminoso que incide paralelamente ao eixo principal se refrata alinhado com o foco principal real da lente.

3º raio particular: todo raio luminoso que incide alinhado com o ponto antiprincipal objeto se refrata alinhado com o ponto antiprincipal imagem.

4º raio particular: todo raio luminoso que incide sobre o foco principal da lente se refrata de forma paralela ao eixo principal.

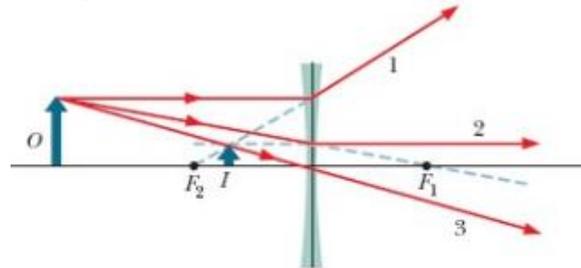
3.4.5 Construção geométrica e características das imagens formadas

1) Lentes divergentes

As características das imagens formadas nas lentes divergentes são sempre as mesmas, independente da posição do objeto. Outro fato é que

essas imagens sempre são formadas entre o centro óptico e o foco principal imagem da lente. As imagens formadas nas lentes divergentes são virtuais, direitas e menores que o objeto. A figura 9 mostra a formação de uma imagem virtual numa lente divergente:

Figura 9: Imagem virtual formada numa lente esférica divergente



Fonte: HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2016, p.134.

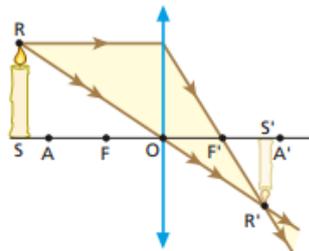
2) Lentes convergentes:

Já nas lentes esféricas convergentes, as características das imagens conjugadas dependem da posição ocupada pelo objeto. Vamos analisar as possíveis características das imagens para pontos distintos de localização do objeto:

1ª posição: Objeto além do ponto antiprincipal objeto.

- Como ilustra a figura 10, a imagem formada é real, invertida e menor que o objeto.

Figura 10: Formação de uma imagem para um objeto localizado antes do ponto antiprincipal

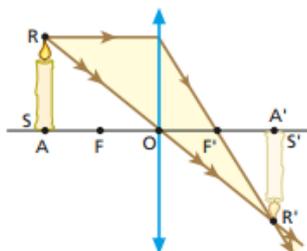


Fonte: BISCUOLA; DOCA; NEWTON, 2012, p. 553.

2ª posição: Objeto sobre o ponto antiprincipal objeto.

- Como ilustra a figura 11, a imagem formada é real, invertida e do mesmo tamanho do objeto.

Figura 11: Imagem formada de um objeto localizado sobre o ponto antiprincipal

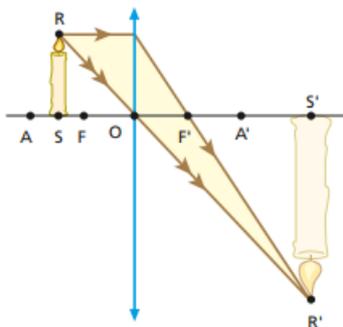


Fonte: BISCUOLA; DOCA; NEWTON, 2012, p. 553.

3ª Posição: Objeto entre o ponto antiprincipal e o foco principal objeto.

- Como ilustra a figura 12, a imagem formada é real, invertida e maior que o objeto.

Figura 12: Imagem formada de um objeto localizado entre o ponto antiprincipal e o foco principal objeto da lente

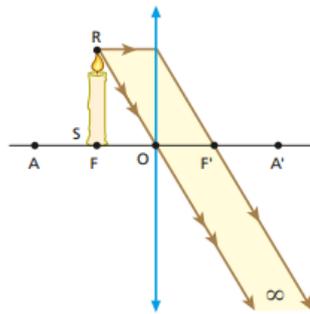


Fonte: BISCUOLA; DOCA; NEWTON, 2012, p. 553.

4ª Posição: Objeto sobre o foco principal.

- Como ilustra a figura 13, a imagem formada é imprópria.

Figura 13: Imagem imprópria de um objeto localizado sobre o foco principal objeto da lente

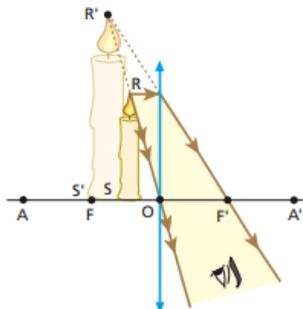


Fonte: BISCUOLA; DOCA; NEWTON, 2012, p. 554.

5ª Posição: Objeto entre o foco principal e o centro óptico.

- Como ilustra a figura 14, a imagem formada é virtual, direita e maior que o objeto.

Figura 14: Imagem virtual formada de um objeto localizado entre o foco principal objeto e o centro óptico da lente

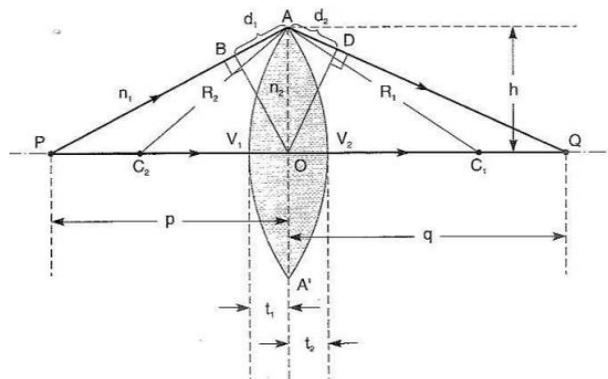


Fonte: BISCUOLA; DOCA; NEWTON, 2012, p. 554.

3.4.6. Estudo analítico das lentes esféricas. A equação de Gauss e o aumento linear transversal

Para estudarmos a parte analítica das lentes esféricas, analisemos, como base, a lente biconvexa representada na figura 15:

Figura 15: Lente biconvexa



Fonte: KNIGHT, 2009, p. 28.

Usando o princípio de Fermat, na condição em que o caminho óptico (PAQ), passando pelo topo da lente deve ser igual ao caminho óptico (POQ), passando pelo eixo central da lente. Em outras palavras, a diferença (PAQ) – (POQ) é nula. Essa diferença possui duas componentes, a primeira, seria $n_1 d_1 + n_2 d_2$, já que podemos considerar a distancia PB aproximadamente igual a distancia PO, assim como a distancia DQ aproximadamente igual a distancia OQ. A segunda componente vem através da substituição de n_1 por n_2 através do trecho $\overline{V_1 V_2}$, que é a própria espessura da lente. Logo, essa segunda componente

é dada por $+(n_2 - n_1) \overline{V_1 V_2} = +(n_2 - n_1)(t_1 + t_2)$, para a figura 16. Pelo principio de Fermat, teremos:

$$0 = [\text{PAQ}] - [\text{POQ}] = n_1 (d_1 + d_2) - (n_2 - n_1) (t_1 + t_2) \quad (3.5)$$

Considerando, dentro do triângulo AOP, $AO = h$, teremos:

$$h^2 \cong (p + d_1)^2 - p^2 = 2pd_1 + \underbrace{d_1^2}_{\text{desprezível}} \left\{ d_1 \cong \frac{h^2}{2p} \right. \quad (3.6)$$

De forma análoga, no triângulo AOQ, temos:

$$d_2 \cong \frac{h^2}{2p} \quad (3.7)$$

Notando ainda que $\frac{c_1 v_1}{c_1 A} = \frac{R_1}{A}$, no triângulo retângulo AOC₁, teremos:

$$h^2 = R_1^2 - (R_1 - t_1)^2 = 2R_1 t_1 + \underbrace{t_1^2}_{\text{desprezível}} \quad \left\{ \quad t_1 \cong \frac{h^2}{2R_1} \right.$$

(3.8)

Como $R_2 < 0$, de forma análoga, no triângulo AOC₂, teremos:

$$t_2 \cong -\frac{h^2}{2R_2} \quad (3.9)$$

Substituindo as relações (3.6), (3.7), (3.8) e (3.9) na relação (3.5), teremos:

$$n_1 \frac{h^2}{2} \left(\frac{1}{p} + \frac{1}{q} \right) - (n_2 - n_1) \frac{h^2}{2} \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) = 0 \quad (3.10)$$

Dividindo essa relação por n_1 , chegamos à seguinte relação:

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = (n_{12} - 1) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) = \frac{1}{f} = \frac{1}{f'} \quad (3.11)$$

A forma simplificada dessa relação seria:

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f} \quad (3.12)$$

Essa equação é conhecida como equação de Gauss, em homenagem ao matemático e físico alemão Karl Friedrich Gauss. Analisando as variáveis dessa equação:

p – Distância entre o objeto e o centro óptico da lente.

q – Distância entre a imagem conjugada e o centro óptico da lente.

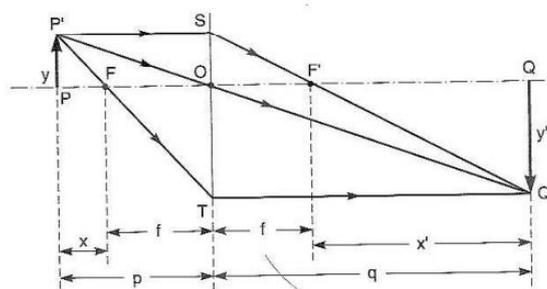
f – Distância focal da lente.

Para essa equação é adotada a convenção de sinais que se segue:

- Objetos e imagens reais: abscissa positiva ($p > 0$ e $q > 0$).
- Objetos e imagens virtuais: abscissa negativa ($p < 0$ e $q < 0$).
- Lentes convergentes: distância focal positiva ($f > 0$).
- Lentes divergentes: distância focal negativa ($f < 0$).

Outra grandeza que iremos definir é o aumento linear transversal. Para isso, vamos recorrer à figura 16, que mostra um objeto de altura y e a sua respectiva imagem de altura y' , conjugada numa lente convergente:

Figura 16: Objeto e imagem formada numa lente convergente



Fonte: KNIGHT, 2009, p. 30.

Após aplicar a semelhança entre os triângulos $PP'O$ e $QQ'O$, temos:

$$m = +\frac{y'}{y} = -\frac{q}{p} \quad (3.13)$$

Representando por x e x' as distâncias do objeto e da imagem ao foco, respectivamente, teremos:

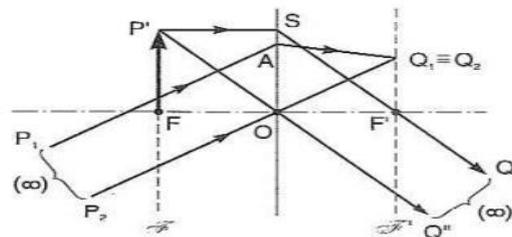
$$m = +\frac{y'}{y} = \frac{x'}{f} = -\frac{f}{x} \quad (3.14)$$

Isso implica em na relação (3.14), que é a forma newtoniana para a equação das lentes delgadas:

$$xx' = f^2 \quad (3.15)$$

Uma das conseqüências dessa relação newtoniana está representada na figura 17. Esse caso indica que para x tendendo a zero, x' tende ao infinito e que para x' tendendo a zero, x tende ao infinito:

Figura 17: Plano focal objeto e plano focal imagem



Fonte: KNIGHT, 2009, p.31.

A grandeza física denominada vergência indica de uma forma simplista a capacidade que uma lente possui de desviar raios de luz que nela incidem. Essa grandeza é calculada pelo inverso da distância focal da lente, ou seja:

$$V = \frac{1}{f} \quad (3.16)$$

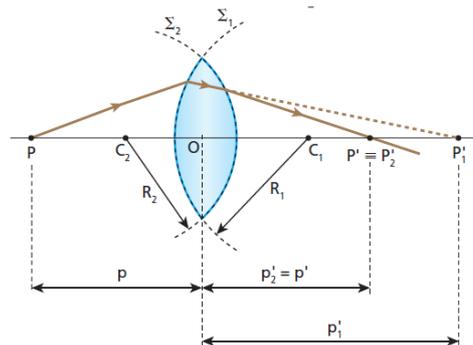
Lentes convergentes possuem focos reais, conseqüentemente vergências positivas, ou seja, $f > 0$ e $V > 0$. Lentes divergentes possuem focos virtuais, conseqüentemente vergências negativas, ou seja, $f < 0$ e $V < 0$. Popularmente se conhece a dioptria como grau. No Sistema Internacional de unidades (SI), a vergência é dada em dioptria(di), que indica o inverso do metro, ou seja, m^{-1} .

3.4.7. Equação de Halley

A equação dos fabricantes das lentes é atribuída ao astrônomo inglês Edmond Halley (1656-1742). Essa equação permite calcular a distância focal (ou a vergência) de uma lente, sendo conhecidos seus índices de refração em

relação ao meio externo e os raios de curvatura de suas faces. Essa equação traz uma relação entre a distância focal da lente, índice de refração relativo e raios de curvatura das faces da lente. A notação mais freqüente para os raios de curvatura adota valor positivo para faces convexas e valor negativo para faces côncavas, assim como para a face plana o raio é infinito. Traremos agora a demonstração da equação de Halley, baseada na figura 18:

Figura 18- Raios de curvatura das faces de uma lente biconvexa



Fonte: BISCUOLA; DOCA; NEWTON, 2012, p. 433.

Aplicando a equação do dióptro esférico, temos:

$$\frac{n_m}{P} + \frac{n_L}{P_1} = \frac{n_L - n_m}{R_1} \quad (I) \quad (3.17)$$

$$-\frac{n_L}{P_1} + \frac{n_m}{P_2} = \frac{n_L - n_m}{R_2} \quad (II) \quad (3.18)$$

Somando (3.16) e (3.17), temos:

$$\frac{n_m}{P} + \frac{n_m}{P_2} = (n_L - n_m) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \quad (3.19)$$

Dividindo-se todos os termos acima por \$n_m\$, temos:

$$\frac{1}{P} + \frac{1}{P_2} = \left(\frac{n_L}{n_m} - 1 \right) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \quad (3.20)$$

Aplicando a equação de Gauss:

$$\frac{1}{P} + \frac{1}{P_1} = \frac{1}{f} \quad (3.21)$$

Teremos, no final:

$$\frac{1}{f} = (n_{L,m} - 1) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \quad (3.22)$$

Onde:

f – Distância focal da lente.

$n_{L,m}$ – Índice de refração relativo entre a lente e o meio onde ela está inserida.

R_1 - Raio de curvatura da primeira face da lente.

R_2 – Raio de curvatura da segunda face da lente.

3. Metodologia

Esse produto educacional tem como objetivo principal o fornecimento de uma ferramenta que possa auxiliar os professores de Física na abordagem dos temas referentes às lentes esféricas, apresentando uma sequência didática que dialoga entre exposição teórica e comprovação experimental prática.

Acreditamos que essa associação entre teoria e prática produz uma maior eficácia no processo de ensino-aprendizagem da Física. Assim como dito anteriormente, a sequência didática apresentada nesse trabalho versa sobre as lentes esféricas, um objeto de conhecimento que é frequentemente ministrado ao segundo ano do ensino médio da educação básica.

É importante frisar que tanto o número de encontros, quanto o tempo de cada encontro para a aplicação da sequência didática proposta ao longo desse trabalho fica a critério de cada docente. A descrição que se segue é uma sugestão de aplicação da referida sequência didática.

1ª Etapa: explanação inicial sobre a metodologia e aplicação do pré-teste

No início do primeiro encontro, o docente faz uma explanação breve de como será realizada toda a atividade, explicitando como será desenvolvida cada etapa da metodologia e quais os objetivos esperados com essas atividades. Em seguida, com o objetivo de detectar o nível de conhecimento prévio, os alunos são submetidos a um pré-teste, aplicado em formulário específico (Apêndice A), com um tempo de resposta previamente estabelecido pelo docente, sendo composto por seis questões objetivas, abrangendo temas relacionados aos conceitos relativos às lentes esféricas. Após os alunos responderem o pré-teste, o docente faz o recolhimento desse material para posterior análise e comparação com o pós-teste.

2ª Etapa: elaboração e confecção das lentes esféricas

Essa etapa consiste na elaboração e posterior confecção das lentes esféricas. Os alunos são orientados a se reunirem em grupos, onde a quantidade de integrantes de cada grupo fica a critério do docente que está conduzindo o processo, levando em consideração os fatores limitantes de

espaço físico, quantidade total de alunos por sala, quantitativo de aparatos para cada grupo, entre outros.

Cada grupo recebe alguns materiais que serão utilizados durante o experimento. Uma sugestão para os materiais que podem ser entregues são: formulário de experimento (Apêndice C), pelo menos duas canetas laser (Figura 19), folhas de papel milimetrado, caneta esferográfica comum, lápis, borracha, régua e folhas de papel ofício.

Inicialmente, os grupos se dirigem a um microcomputador, onde já se encontram desenhados os círculos que darão origem às lentes, mediante um *software* denominado *RD Works*, ou qualquer outro *software* de vetorização de imagens, como, por exemplo, o *Inkscape*. Esses *softwares* podem ser baixados em qualquer computador. Para dar celeridade ao processo, é interessante que o docente, de forma prévia, já deixe os desenhos prontos na tela dos computadores que serão utilizados pelos alunos. Uma sugestão é desenhar os círculos com intersecções entre si, conforme mostrado na figura 20. Fazendo assim, serão obtidas lentes do tipo plano-convexa, plano-côncava, biconvexa e bicôncava, para posterior aplicação de experimentos. Os valores dos raios de curvatura de cada lente desenhada no *software* devem ser registrados pelos alunos no campo específico do formulário de experimento para posterior utilização nos cálculos dos índices de refração de cada lente confeccionada.

Após o desenho das lentes no computador, esses dados são transmitidos via cabo *USB* para uma cortadora a laser CNC (*Computer Numeric Control*). A figura 21 mostra a foto de uma cortadora CNC com laser a gás carbônico. Nessa cortadora a laser, é colocada uma placa transparente de acrílico ou de qualquer outro material que o docente julgue pertinente, cujas dimensões também ficam a critério do professor, respeitando, obviamente, as especificações de restrições estipuladas pelo fabricante da cortadora.

Na fase de planejamento da aula, é primordial que o docente já tenha feito as simulações para deixar a cortadora previamente programada, de modo que tanto a potência do canhão de laser quanto à velocidade de corte estejam compatíveis com as dimensões das lentes a serem confeccionadas. Na cortadora, o gás carbônico é liberado fazendo com que o canhão de laser corte a placa de acrílico nos formatos previamente desenhados no *software*

computacional. A figura 22 ilustra alguns cortes aleatórios produzidos pela cortadora numa placa de acrílico.

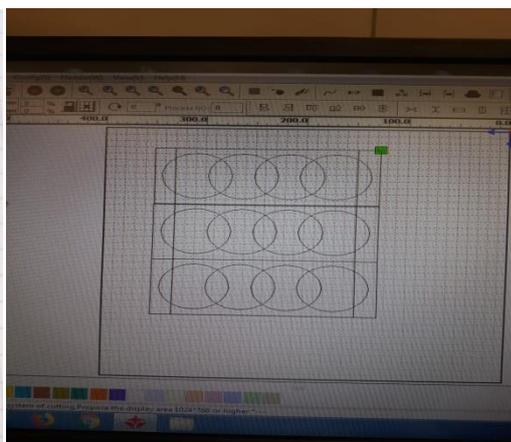
Após a cortadora encerrar o corte das lentes, cada grupo se apropria do seu conjunto de quatro lentes (uma plano – convexa, uma biconvexa, uma plano– côncava e uma bicôncava) e se dirige às bancadas para dar início à aplicação do experimento. Vale salientar que, em um único procedimento de corte, são produzidas várias lentes, favorecendo, assim, o dinamismo da aula.

Figura 19: Canetas laser



Fonte: acervo do autor.

Figura 20: Software Rd Works



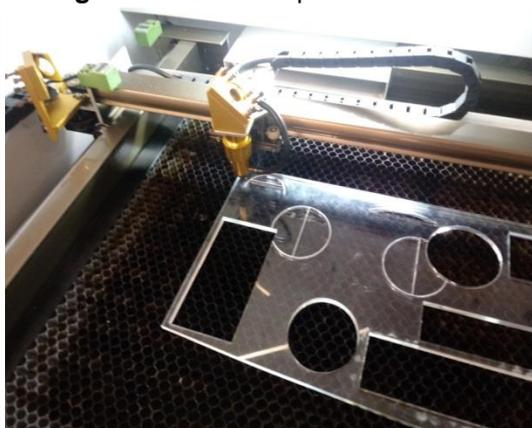
Fonte: acervo do autor.

Figura 21- Cortadora CNC laser



Fonte: acervo do autor.

Figura 22- Corte da placa de acrílico



Fonte: acervo do autor.

3ª Etapa: aplicação do experimento em conjunto com a aula teórica

Na sequência, vem a aplicação do experimento, com o intuito de fazer algumas comprovações e verificações práticas de conceitos relacionados às

lentes esféricas. Sugerimos que, durante a realização do experimento, o docente vá, concomitantemente, apresentando os conceitos teóricos, fazendo uma correlação com a observação experimental. Isso dará ao estudante uma significação maior no seu aprendizado, visto que ele verá a comprovação prática em tempo real daquilo que está sendo ministrado de forma teórica. Além disso, nessa etapa do processo o estudante assume uma participação mais ativa, preparando os materiais e executando os experimentos, além de interagir com o docente, podendo, assim, dirimir as suas dúvidas de uma forma mais efetiva e eficaz.

Sobre cada bancada, os grupos devem colocar a folha de papel milimetrado aberto. Inicialmente, sobre o papel milimetrado é colocada a lente do tipo plano – convexa, posicionando a superfície plana da lente sobre o ponto zero do papel milimetrado, facilitando, assim, as medições e observações necessárias.

Posteriormente, os grupos posicionam as canetas laser sobre a bancada, de tal forma que essas canetas fiquem paralelas entre si e paralelas ao eixo principal. Após a iluminação ambiente ser ajustada, os lasers são acionados simultaneamente em direção à face plana da lente. Conforme instruções contidas no formulário de experimento, os alunos devem medir sobre o papel milimetrado a distância entre o ponto de cruzamento dos raios emergentes da parte esférica da lente e o ponto central da parte plana da lente, fazendo o registro dessa medida no campo denominado distância focal do formulário de experimento. Na sequência, a lente do tipo plano-convexa é retirada da bancada, sendo então substituída pela lente do tipo biconvexa. Essa lente biconvexa deve ser posicionada sobre o papel milimetrado de tal forma que o seu ponto central fique sobre o ponto zero do papel milimetrado, facilitando, assim, as observações e medições necessárias.

Em seguida, os raios laser, paralelos ao eixo principal, são acionados para uma das faces esféricas da lente e conforme instruções contidas no formulário de experimento os alunos devem medir sobre o papel milimetrado a distância entre o ponto de cruzamento dos raios emergentes da lente e o ponto central da lente, fazendo o registro dessa medida no campo denominado distância focal, do formulário de experimento.

É importante lembrar que os conceitos físicos que forem aparecendo mediante a aplicação do experimento devem ser mencionados pelo docente à medida que forem sendo observados. Nesse momento da aula, é interessante que o docente faça uma intervenção interagindo com os alunos acerca de alguns elementos verificados no experimento. Deve fazer comentários a respeito do ponto focal imagem, como sendo o ponto de cruzamento efetivo dos raios refratados, assim como que a distância focal é a distância entre o foco e o centro óptico da lente, além de chamar atenção para o fato que as duas lentes testadas possuem bordas finas e os raios de luz convergiram após atravessá-las. É importante comentar que a convergência não depende apenas das bordas da lente, mas também da relação entre o índice de refração do material da lente e o índice de refração do meio onde ela se encontra.

O próximo passo de cada grupo é substituir a lente biconvexa pela lente do tipo plano côncava, colocando-a sobre o papel milimetrado de tal forma que a superfície plana da lente fique posicionada sobre o ponto zero do papel milimetrado, possibilitando, assim, uma melhor observação e medição das distâncias necessárias. Os lasers, paralelos ao eixo principal, são direcionados para a parte plana da lente e conforme instruções contidas no formulário de experimento os alunos devem medir sobre o papel milimetrado a distância entre o ponto de cruzamento dos prolongamentos dos raios emergentes da lente e o ponto central da face plana da lente, fazendo o registro dessa medida no campo denominado distância focal, do formulário de experimento.

Na sequência, a lente do tipo plano-côncava deve ser substituída pela lente bicôncava. Essa lente deve ser colocada sobre o papel milimetrado de tal forma que o ponto central da lente fique exatamente sobre o ponto zero do papel milimetrado, facilitando assim as observações e medições necessárias. Os lasers são acionados paralelos ao eixo principal na direção de uma das faces da lente e, conforme instruções contidas no formulário de experimento, os alunos devem medir sobre o papel milimetrado a distância entre o ponto de cruzamento dos prolongamentos dos raios emergentes da lente e o ponto central da lente, fazendo o registro dessa medida no campo denominado distância focal, do formulário de experimento.

Nesse momento, é interessante uma nova intervenção por parte do docente, interagindo novamente com os grupos acerca do ponto focal e da

distância focal, agora, sendo ambos de caráter virtual. Outra observação oportuna é mencionar que apenas o fato de uma lente ter bordas grossas não a faz divergente, mas esse caráter divergente também depende da relação entre o índice de refração do material da lente e do índice de refração do meio onde a lente está inserida. O docente pode concluir essa etapa comentando que, se as lentes do experimento estivessem inseridas num meio cujo índice de refração tivesse um valor maior que o valor do índice de refração do material das lentes, os comportamentos de convergência e de divergência observados teriam sido o oposto do que foi visto.

4ª Etapa: verificação matemática do experimento

O próximo passo da sequência didática é a verificação analítica de alguns aspectos do experimento. Essa etapa tem o objetivo específico de analisar alguns dados colhidos na prática experimental e registrados no formulário de experimento, proporcionando, assim, por parte do estudante, através da aplicação da equação de Halley, a possibilidade de calcular o valor aproximado do índice de refração do material que compõe as lentes confeccionadas.

Os grupos terão a oportunidade de constatar a relação direta entre os resultados da aplicação matemática e os resultados da observação experimental. Isso fará com que haja uma aprendizagem mais sólida e significativa, proporcionando que os estudantes se apropriem dos conceitos com mais fundamentação.

Como mencionado anteriormente, é de extrema importância que o docente, durante todas as etapas do experimento, realize as devidas observações e inserções acerca dos fenômenos observados. Especificamente nesse momento da atividade, é relevante que o docente teça algumas considerações a cerca do conceito de índice de refração de um meio, mostrando a importância dessa grandeza física no cotidiano da sociedade, bem como analisar a equação de Halley, comentando sobre cada um dos elementos dessa equação, bem como da notação de sinais usados, tanto para os valores da distância focal quanto para os valores dos raios de curvatura de cada face das lentes. É essencial que o docente deixe claro que na aplicação da equação

de Halley, para faces planas de uma lente, como o raio de curvatura dessa face é infinito, o termo da equação que tenha essa face se torna nulo. Após encontrar esses valores, os grupos devem registrá-los no campo índice de refração da lente, que se encontra no formulário de experimento.

De posse dos valores obtidos para os índices de refração de cada lente experimentada, os grupos devem calcular o valor médio do índice de refração do material que compõe as lentes, fazendo o registro desse valor no campo específico do formulário de experimento. Nesse momento, cabe uma análise dos valores dos índices de refração obtidos para cada lente, fazendo uma comparação com o valor do índice de refração do material utilizado para confeccionar as lentes indicado nos materiais didáticos. Essa análise é pertinente para o docente poder fazer comentários sobre valores discrepantes com a realidade que possam ter sido calculados pelos grupos durante o experimento, procurando compreender em conexão com os alunos quais fatores podem ter influenciado na discrepância desses valores. Após o término dessa etapa, o docente deve fazer o recolhimento do formulário de experimento e submeter cada aluno a um pós-teste (Apêndice B).

5ª Etapa: aplicação do pós-teste e debate de idéias

O pós-teste é uma ferramenta que proporciona ao docente ter uma visão geral dos resultados obtidos com a metodologia aplicada. Nesse instrumento, inicialmente, são repetidas as mesmas seis perguntas do pré-teste, com o intuito de avaliar se houve mudanças significativas após a aplicação das atividades. Em seguida, são propostas três perguntas objetivas sobre as metodologias de ensino tendo como objetivo obter um retorno do aluno acerca do seu pensamento sobre as metodologias ativas de uma forma geral. Por fim, aparece uma pergunta que pede para o aluno relatar com suas palavras as suas impressões e experiências pessoais acerca de toda a metodologia adotada.

Esse quadro geral proporcionará ao professor uma visão particular da situação de cada aluno, como também mostrará um cenário geral do nível de conhecimento em que se encontra a turma, suscitando, assim, elementos que

podem alicerçar uma intervenção pedagógica individualizada e/ou uma intervenção pedagógica mais ampla, contemplando todos os alunos da turma.

O pós-teste também propicia ao docente entrar em contato com algumas opiniões dos estudantes acerca da metodologia aplicada. Através dessas opiniões, o docente terá um retorno em relação ao sucesso ou não da atividade realizada. Sugerimos que, ao final de todo o processo, o docente faça o encerramento realizando um debate com os alunos, instigando-os a relatarem verbalmente as suas experiências e percepções pessoais acerca de todo o processo realizado.

É importante frisar que esse tipo de atividade em grupo agrega valores aos alunos, além de favorecer a socialização, a cooperação e o trabalho em equipe, fortalecendo o respeito às contradições e às diferenças, fazendo, assim, com que haja um olhar de valorização maior em relação à pessoa humana. Vale salientar que o exposto na descrição desse produto educacional não tem, de nenhum modo, o objetivo de ofertar uma sequência didática engessada em sua metodologia; muito pelo contrário, a intenção é oferecer aos docentes uma opção que se adapte à sua realidade.

- **Sugestão alternativa da aplicação do produto educacional**

Cabe aqui também uma observação com relação à aplicação dessa sequência didática em ambientes escolares que não possuem o recurso da cortadora a laser, seja por conta da falta de recursos financeiros para a aquisição da máquina, seja por opção do corpo diretivo em não investir nesse tipo de recurso didático.

Sugerimos que o docente faça um planejamento junto à escola para a realização de uma aula de campo, a ser desenvolvida em um local onde possua a cortadora a laser. Vale salientar que essa aula de campo poderia agregar também outras áreas de conhecimento, como a Matemática, a Química, a Biologia, a História, a Sociologia, que teriam aspectos relevantes para discutir em relação à cortadora a laser, trazendo, assim, um caráter interdisciplinar, produzindo no estudante uma aprendizagem mais ampla e significativa.

No que tange ao desenho das lentes no microcomputador, caberia ao docente, mediante as condições existentes, definir se seriam realizadas na própria escola ou durante a aula de campo, visto que o *software* RD Works não está atrelado à presença da cortadora a laser, funcionando, assim, em qualquer computador e em qualquer lugar.

Se o docente optar pelo desenho das lentes no próprio ambiente escolar, esses arquivos seriam salvos e levados no dia da aula de campo, bem como a placa do material para serem confeccionadas as lentes na cortadora a laser. Durante o tempo que a cortadora estivesse fazendo a confecção das lentes, caso o planejamento seja de uma aula interdisciplinar, os demais docentes poderiam usar esse momento para incluir suas contribuições.

Após a confecção das lentes, dependendo do planejamento que foi proposto, o pré-teste, a aplicação do experimento e o pós-teste poderiam ser realizados no ambiente da aula de campo ou na própria escola. Como sugestão de ambientes que possuem a cortadora a laser e que em determinados dias da semana recebem esse tipo de aula, com entrada franca, podemos citar como exemplo o *Fab Lab*, que possui várias unidades espalhadas pelo Brasil e por todo o mundo, tendo como missão a propagação da cultura *maker*. O Fab Lab faz parte de uma rede mundial de laboratórios de fabricação digital idealizado pelo Instituto de Tecnologia de Massachussets e conta com 80 laboratórios no Brasil. Em Recife, o laboratório fica localizado na rua da Moeda, número 129, no bairro do Recife Antigo, tendo, inclusive, convênios firmados com a rede pública de educação, o que democratiza a utilização desses espaços. Acreditamos que essas aulas *in loco* estimulam nos estudantes um senso mais crítico e investigativo, o que é essencial no estudo e no desenvolvimento das ciências.

4. Referências Bibliográficas

AUSUBEL, David; HANESIAN, Helen; NOVAK, Joseph. **Educationalpsychology: a cognitiveview**. New York: Holt/ Rinehartand Winston, 1968.

BISCUOLA, Gualter José; DOCA, Ricardo Helou; NEWTON, Villas Bôas. **Tópicos de Física** – Vol. 1. 21ª ed. São Paulo: Saraiva Didático, 2012.

_____. **Tópicos de física**. Vol. 2. 19ª. ed. São Paulo: Saraiva, 2012.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de Física**. Vol. 4. Óptica e Física Moderna. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

KNIGHT, Randall. Física 2: uma abordagem estratégica. Trad. Iuri Duquia Abreu. 2ª. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.

RAMALHO JÚNIOR, Francisco; NICOLAU, Gilberto Ferraro; TOLEDO, Paulo Antônio de Toledo. **Fundamentos da Física**. Vol. 2. São Paulo: Moderna Plus, 2015.

5. Apêndices

5.1. Apêndice A - Formulário do pré-teste



Aluno:

Professor:

Pré – Teste

Com base nos seus conhecimentos prévios, assinale a alternativa correta em cada um dos itens abaixo.

1. As lentes esféricas são:

- a) sistemas ópticos transparentes formados por dois dióptros, sendo pelo menos um deles de superfície esférica.
- b) sistemas ópticos opacos formados por dois dióptros com suas superfícies planas.
- c) sistemas ópticos transparentes formados por dois dióptros, sendo pelo menos um deles de superfície plana.
- d) sistemas ópticos opacos formados por dois dióptros, sendo pelo menos um deles de superfície esférica.

2. Durante a travessia dos raios luminosos através das lentes esféricas, o principal fenômeno óptico que ocorre é:

- a) a reflexão
- b) a refração
- c) a difração

d) a absorção

3. Uma lente esférica é convergente, quando:

a) possui bordas grossas, independente da relação entre o valor do índice de refração do material que constitui essa lente e o valor do índice de refração do meio onde ela está inserida.

b) possui bordas finas, independente da relação entre o valor do índice de refração do material que constitui essa lente e o valor do índice de refração do meio onde ela está inserida.

c) possui bordas grossas e o índice de refração do material que constitui essa lente possui um valor maior que o índice de refração do meio onde ela está inserida.

d) possui bordas finas e o índice de refração do material que constitui essa lente possui um valor maior que o índice de refração do meio onde ela está inserida.

4. Uma lente esférica é divergente, quando:

a) possui bordas grossas, independente da relação entre o valor do índice de refração do material que constitui essa lente e o valor do índice de refração do meio onde ela está inserida.

b) possui bordas finas, independente da relação entre o valor do índice de refração do material que constitui essa lente e o valor do índice de refração do meio onde ela está inserida.

c) possui bordas grossas e o índice de refração do material que constitui essa lente possui um valor maior que o do índice de refração do meio onde ela está inserida.

d) possui bordas finas e o índice de refração do material que constitui essa lente possui um valor maior que o do índice de refração do meio onde ela está inserida.

5. Após raios de luz incidir numa lente esférica convergente, de modo que esses raios incidentes sejam paralelos ao eixo principal da lente, ocorre:

a) cruzamento dos raios refratados em um ponto específico denominado de centro óptico da lente.

b) cruzamento dos raios refratados em um ponto específico denominado foco principal real da lente.

c) cruzamento dos prolongamentos dos raios refratados em um ponto específico denominado de centro óptico da lente.

d) cruzamento dos prolongamentos dos raios refratados em um ponto específico denominado foco principal virtual da lente.

6. Após raios de luz incidir numa lente esférica divergente, de modo que esses raios incidentes sejam paralelos ao eixo principal da lente, ocorre:

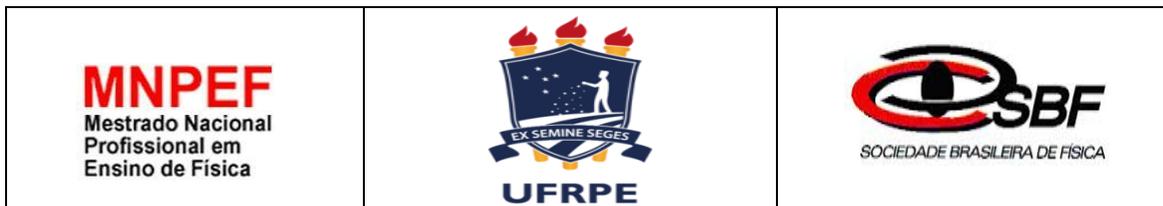
a) cruzamento dos raios refratados em um ponto específico denominado de centro óptico da lente.

b) cruzamento dos raios refratados em um ponto específico denominado foco principal real da lente.

c) cruzamento dos prolongamentos dos raios refratados em um ponto específico denominado de centro óptico da lente.

d) cruzamento dos prolongamentos dos raios refratados em um ponto específico denominado foco principal virtual da lente.

5.2. Apêndice B - Formulário do pós-teste



Aluno:

Professor:

Pós – Teste

1. As lentes esféricas são:

- a) sistemas ópticos transparentes formados por dois dióptros, sendo pelo menos um deles de superfície esférica.
- b) sistemas ópticos opacos formados por dois dióptros com suas superfícies planas.
- c) sistemas ópticos transparentes formados por dois dióptros, sendo pelo menos um deles de superfície plana.
- d) sistemas ópticos opacos formados por dois dióptros, sendo pelo menos um deles de superfície esférica.

2. Durante a travessia dos raios luminosos através das lentes esféricas, o principal fenômeno óptico que ocorre é:

- a) a reflexão
- b) a refração
- c) a difração
- d) a absorção

3. Uma lente esférica é convergente quando:

a) possui bordas grossas, independente da relação entre o valor do índice de refração do material que constitui essa lente e o valor do índice de refração do meio onde ela está inserida.

b) possui bordas finas, independente da relação entre o valor do índice de refração do material que constitui essa lente e o valor do índice de refração do meio onde ela está inserida.

c) possui bordas grossas e o índice de refração do material que constitui essa lente possui um valor maior que o do índice de refração do meio onde ela está inserida.

d) possui bordas finas e o índice de refração do material que constitui essa lente possui um valor maior que o do índice de refração do meio onde ela está inserida.

4. Uma lente esférica é divergente quando:

a) possui bordas grossas, independente da relação entre o valor do índice de refração do material que constitui essa lente e o valor do índice de refração do meio onde ela está inserida.

b) possui bordas finas, independente da relação entre o valor do índice de refração do material que constitui essa lente e o valor do índice de refração do meio onde ela está inserida.

c) possui bordas grossas e o índice de refração do material que constitui essa lente possui um valor maior que o do índice de refração do meio onde ela está inserida.

d) possui bordas finas e o índice de refração do material que constitui essa lente possui um valor maior que o do índice de refração do meio onde ela está inserida.

5. Após raios de luz incidir numa lente esférica convergente, de modo que esses raios incidentes sejam paralelos ao eixo principal da lente, ocorre:

a) cruzamento dos raios refratados em um ponto específico denominado de centro óptico da lente.

b) cruzamento dos raios refratados em um ponto específico denominado foco principal real da lente.

c) cruzamento dos prolongamentos dos raios refratados em um ponto específico denominado de centro óptico da lente.

d) cruzamento dos prolongamentos dos raios refratados em um ponto específico denominado foco principal virtual da lente.

6. Após raios de luz incidir numa lente esférica divergente, de modo que esses raios incidentes sejam paralelos ao eixo principal da lente, ocorre:

a) cruzamento dos raios refratados em um ponto específico denominado de centro óptico da lente.

b) cruzamento dos raios refratados em um ponto específico denominado foco principal real da lente.

c) cruzamento dos prolongamentos dos raios refratados em um ponto específico denominado de centro óptico da lente.

d) cruzamento dos prolongamentos dos raios refratados em um ponto específico denominado foco principal virtual da lente.

7. Você julga que todas as atividades desenvolvidas nesses encontros te ajudaram a compreender melhor o funcionamento das lentes esféricas?

a) sim, ajudaram muito.

b) sim, ajudaram mais ou menos.

c) não, não me ajudaram.

8. Você avalia como positivo a utilização de experimentos nas aulas de física? Os experimentos fazem você ter mais interesse pela aula?

a) sim, avalio como positivo e fico com mais interesse na aula.

b) sim, avalio como positivo, mas não aumenta o meu interesse pela aula.

c) não avalio como positivo, mas aumenta meu interesse na aula.

d) não avalio como positivo e não aumenta meu interesse na aula.

9. Qual a sua opinião sobre esse tipo de atividade, onde o estudante possui participação ativa no processo de ensino-aprendizagem?

a) acho muito proveitosas, pois facilita o aprendizado.

b) não acho proveitosa, pois dificulta o aprendizado.

c) acho que é indiferente, pois não interfere no aprendizado.

10. Faça um breve comentário relatando suas experiências pessoais acerca das atividades que foram desenvolvidas.

5.3. Apêndice C - Formulário de experimento



Formulário de experimento

Grupo:

Professor: _____

Materiais utilizados:

Aplicação do experimento:

Lente 1: Plano-convexa.

Sequência de procedimentos:

1. Registre no campo raio de curvatura da lente, o valor do raio usado no desenho da lente.
2. Posicione a lente sobre o papel milimetrado, de modo que o centro da superfície plana da lente fique sobre a linha zero do papel.
3. Acione os lasers em direção à superfície plana da lente.

4. Marque sobre o papel milimetrado o ponto onde os raios luminosos se cruzam após atravessar a lente (foco).

5. Faça a medição da distância entre o foco e o centro da superfície plana da lente. Registre o valor encontrado no campo distância focal.

6. Utilizando a equação dos fabricantes de lentes, calcule o valor do índice de refração do material que compõe a lente. Registre o valor encontrado no campo índice de refração da lente.

Dados:

Índice de refração do ar: $n_1 \cong 1,00$

Equação de Halley:

$$\frac{1}{f} = \left(\frac{n_2}{n_1} - 1 \right) \cdot \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

Raio de curvatura: _____

Distância focal: _____

Cálculos:

Índice de refração da lente:

Lente 2: Biconvexa.

Sequência de procedimentos:

1. Registre no campo raio de curvatura da lente, o valor do raio usado no desenho da lente.

2. Posicione a lente sobre o papel milimetrado, de modo que o centro da lente fique sobre a linha zero do papel.

3. Acione os lasers em direção a uma das superfícies esféricas da lente.
4. Marque sobre o papel milimetrado o ponto onde os raios luminosos se cruzam após atravessar a lente (foco).
5. Faça a medição da distância entre o foco e o centro da lente. Registre o valor encontrado no campo distância focal.
6. Utilizando a equação dos fabricantes de lentes, calcule o valor do índice de refração do material que compõe a lente. Registre o valor encontrado no campo índice de refração da lente.

Dados:

Índice de refração do ar: $n_1 \cong 1,00$

Equação de Halley:

$$\frac{1}{f} = \left(\frac{n_2}{n_1} - 1 \right) \cdot \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

Raio de curvatura: _____

Distância focal: _____

Cálculos:

Índice de refração da lente:

Lente 3: Plano-côncava.

Sequência de procedimentos:

1. Registre no campo raio de curvatura da lente, o valor do raio usado no desenho da lente.

2. Posicione a lente sobre o papel milimetrado, de modo que o centro da superfície plana da lente fique sobre a linha zero do papel.
3. Acione os lasers em direção à superfície plana da lente.
4. Marque sobre o papel milimetrado o ponto onde os prolongamentos dos raios luminosos se cruzam após atravessar a lente (foco).
5. Faça a medição da distância entre o foco e o centro da superfície plana da lente. Registre o valor encontrado no campo distância focal.
6. Utilizando a equação dos fabricantes de lentes, calcule o valor do índice de refração do material que compõe a lente. Registre o valor encontrado no campo índice de refração da lente.

Dados:

Índice de refração do ar: $n_1 \cong 1,00$

Equação de Halley:

$$\frac{1}{f} = \left(\frac{n_2}{n_1} - 1 \right) \cdot \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

Raio de curvatura: _____

Distância focal: _____

Cálculos:

Índice de refração da lente:

Lente 4: Bicôncava.

Sequência de procedimentos:

1. Registre no campo raio de curvatura da lente, o valor do raio usado no desenho da lente.
2. Posicione a lente sobre o papel milimetrado, de modo que o centro da lente fique sobre a linha zero do papel.
3. Acione os lasers em direção a uma das superfícies esféricas da lente.
4. Marque sobre o papel milimetrado o ponto onde os prolongamentos dos raios luminosos se cruzam após atravessar a lente (foco).
5. Faça a medição da distância entre o foco e o centro da lente. Registre o valor encontrado no campo distância focal.
6. Utilizando a equação dos fabricantes de lentes, calcule o valor do índice de refração do material que compõe a lente. Registre o valor encontrado no campo índice de refração da lente.

Dados:

Índice de refração do ar: $n_1 \cong 1,00$

Equação de Gauss:

$$\frac{1}{f} = \left(\frac{n_2}{n_1} - 1 \right) \cdot \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

Raio de curvatura: _____

Distância focal: _____

Cálculos:

Índice de refração da lente:

Conclusão:

Com base nas suas observações e cálculos, indique o valor médio experimental do índice de refração do material que compõe as lentes, fazendo a média aritmética entre os valores obtidos para cada lente.

Valor médio do índice de refração: