



**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**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação no Curso de Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

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

Recife,  
Setembro de 2019.

## 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 essa sequência didática não constitui um modelo fixo, que não permite adaptações conforme as necessidades. Pelo contrário, ela foi pensada de modo a flexibilizar a sua aplicação, de acordo com as demandas de cada docente.

Esta sequência didática é dividida em cinco etapas, nas quais os estudantes serão 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 elaboram e confeccionam lentes esféricas, submetendo-as à incidência de luz, verificando, assim, o comportamento óptico dessas lentes. Em seguida fazem algumas constatações matemáticas acerca do experimento, em formulário próprio (anexo no apêndice C), principalmente através da utilização da equação dos fabricantes de lentes, com o objeto de calcular o índice de refração absoluto das mesmas.

Destarte, esta sequência didática é parte integrante da dissertação de mestrado do Programa de Mestrado Profissional Nacional em Ensino de Física (MNPEF), sediada na UFRPE, pólo 58. Em convênio com a Sociedade Brasileira de Física, essa dissertação se intitula: **“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”, sob a orientação do Prof. Dr. Antonio Carlos da Silva Miranda.**

## **2. Lentes esféricas**

### **2.1. Conceito e histórico**

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 Newton, Helou e Gualter (2012),

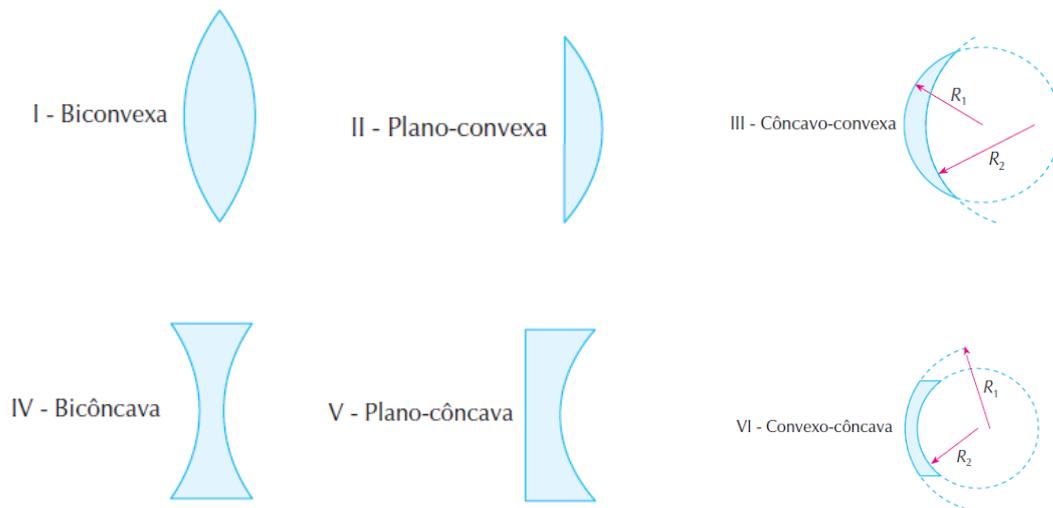
não se sabe ao certo quando surgiram as primeiras lentes, há relatos de que no século VIII a.C. utilizavam-se determinados cristais polidos capazes de produzir imagens ampliadas de objetos. A partir do século XIII, porém, iniciou-se na Itália a fabricação regular de lentes, destinadas principalmente à correção visual. Teria sido o florentino Salvino D'Armati, em 1285, o primeiro fornecedor do que hoje chamamos de óculos (NEWTON; HELOU e GUALTER, 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 Newton, Helou e Gualter (2012), definem especificamente as lentes do tipo esférica, como sendo “uma associação de dois dióptros: um necessariamente esférico e o outro plano ou esférico” (p. 411). Para Ramalho, Nicolau e Toledo (2015), “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” (p. 345). 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.

### **2.2. Classificação das lentes esféricas**

Segundo Newton, Helou e Gualter (2012), as lentes delgadas se dividem em dois grandes grupos, a saber, as de bordas finas e as de bordas grossas, como ilustra a figura 1.

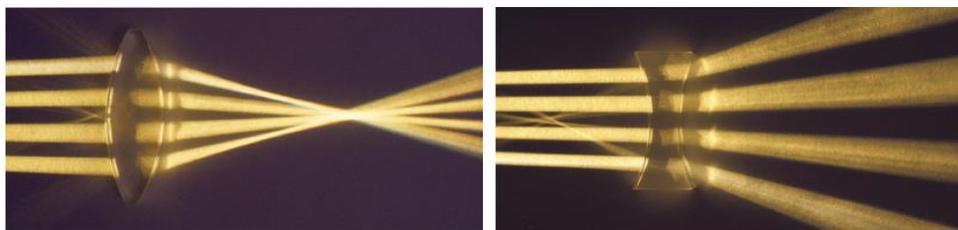
**Figura 01** – Ilustrações de lentes de bordas finas e de bordas grossas



**Fonte:** Ramalho, Nicolau e Toledo, 2015, p. 346.

Em relação ao comportamento óptico das lentes esféricas, elas se classificam em convergentes ou divergentes. Conforme o relato de Newton, Helou e Gualter (2012), nas lentes convergentes os raios que incidem paralelos entre si, refratam com direções que convergem para um ponto específico. Já nas lentes divergentes, os raios que incidem paralelos entre si, refratam com direções que divergem para um ponto específico. Abaixo, a figura 2 mostra uma ilustração de um comportamento convergente e uma ilustração de um comportamento divergente, após raios de luz atravessarem uma lente.

**Figura 2** – Raios de luz apresentando comportamentos convergentes e divergentes ao atravessarem lentes diferentes



**Fonte:** Newton, Helou e Gualter, 2012, p. 413.

Ainda segundo os autores supracitados, qualquer lente pode ter comportamento convergente ou divergente. O 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 Newton, Helou e Gualter (2012), resumem essa relação entre comportamento óptico da lente e índices

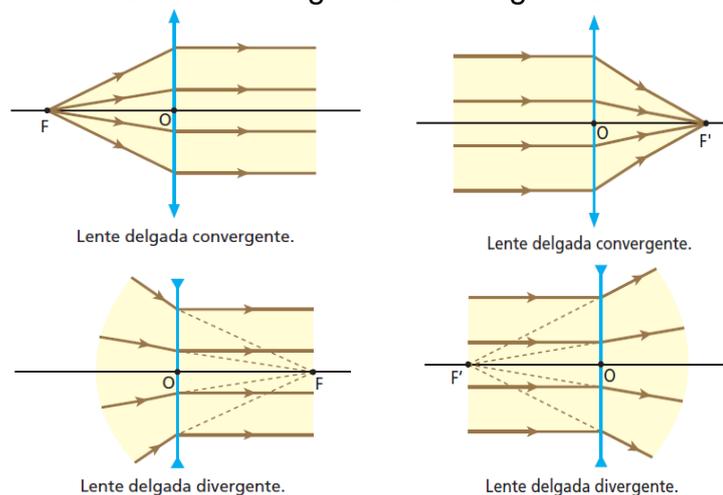
de refração, como: “se a lente é mais refringente que o meio externo, temos: bordas finas — convergentes; bordas grossas — divergentes. Esse é o caso mais comum. Se a lente é menos refringente que o meio externo, temos: bordas finas — divergentes; bordas grossas — convergentes, sendo esse caso menos comum” (p. 413).

### 2.3. Elementos principais de uma lente esférica

#### a) Focos de uma lente esférica

Os autores Ramalho, Nicolau e Toledo (2015), classificam o foco objeto de uma lente como o “ponto do eixo principal em que a lente conjuga imagens impróprias para raios emergentes paralelos ao eixo principal” (p. 349). Esses autores ressaltam, ainda, que para as lentes convergentes, esse foco tem caráter real, enquanto que nas lentes divergentes, esse foco tem caráter virtual. Continuando a análise, os autores explicam que o foco principal imagem é o ponto do eixo principal que a lente conjuga um objeto no infinito, para raios incidentes paralelos ao eixo principal. A figura 3 mostra os focos principais, objeto e imagem, de uma lente esférica, convergente e divergente.

**Figura 3** – Ilustrações do foco principal objeto e do foco principal imagem de lentes convergentes e divergentes



**Fonte:** Newton, Helou e Gualter, 2012, p. 414 e 415.

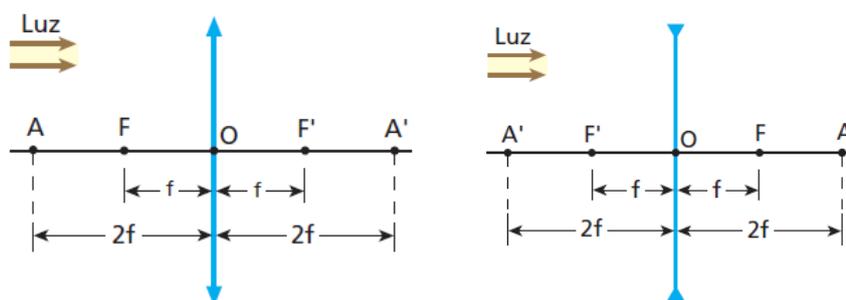
#### b) Centro óptico

Segundo Newton, Helou e Gualter (2012), o “centro óptico de uma lente esférica é o ponto do eixo principal por onde passa um raio luminoso que não sofre desvio angular” (p. 414).

### c) Pontos antiprincipais

Outro ponto importante 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 em questão. A figura 4 ilustra os elementos principais de uma lente esférica convergente e outra divergente.

**Figura 4** – Ilustrações dos elementos principais de uma lente esférica delgada



Fonte: Newton, Helou e Gualter, 2012, p. 416.

## 2.4. Raios luminosos particulares

Segundo Newton, Helou e Gualter (2012, p. 416-417), assim como nos espelhos esféricos, nas lentes também existem alguns raios que possuem comportamentos particulares ao atravessar essas lentes. Esses raios particulares, assim como nos espelhos esféricos, são de extrema importância para a obtenção da construção geométrica das imagens nas lentes esféricas. Ainda segundo os autores supracitados, são três tipos de raios particulares, a saber:

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

**2º raio particular:** todo raio luminoso que incide paralelamente ao eixo principal se refrata alinhado com o foco principal imagem ( $F'$ ).

**3º raio particular:** todo raio luminoso que incide alinhado com o ponto antiprincipal objeto ( $A$ ) se refrata alinhado com o ponto antiprincipal imagem ( $A'$ ).

## 2.5 Construção geométrica e características das imagens formadas

### 3) Lentes divergentes

Como afirmam Newton, Helou e Gualter (2012), as características das imagens formadas nas lentes divergentes são sempre as mesmas, independente da posição do objeto. Além disso, os autores ressaltam que essas imagens sempre são formadas entre o centro óptico (O) e o foco principal imagem (F'). As imagens formadas nas lentes divergentes possuem as seguintes características: virtual, direita e menor que o objeto.

### 4) Lentes convergentes:

Segundo a análise de Ramalho, Nicolau e Toledo (2015), nas lentes esféricas convergentes, as características das imagens conjugadas dependem da posição ocupada pelo objeto. Essas imagens possuem as seguintes características:

1ª posição: Objeto além do ponto antiprincipal objeto.

- Características da imagem formada: real, invertida e menor que o objeto.

2ª posição: Objeto sobre o ponto antiprincipal objeto.

- Características da imagem formada: real, invertida e do mesmo tamanho do objeto.

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

- Características da imagem formada: real, invertida e maior que o objeto.

4ª Posição: Objeto sobre o foco principal.

- Característica da imagem formada: Imagem imprópria.

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

- Características da imagem formada: virtual, direita e maior que o objeto.

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

Os autores Newton, Helou e Gualter (2012, p. 423), mencionam que assim como nos espelhos esféricos, o referencial gaussiano tem por função dar estrutura ao estudo analítico das imagens, atribuindo, às abscissas e ordenadas dos objetos e consequentes imagens, sinais algébricos adequados. Ainda segundo esses autores, nas lentes esféricas o referencial gaussiano é composto por três eixos, com origem no centro óptico.

Ainda segundo os autores supracitados, o referencial gaussiano adota sinais específicos para os elementos estudados, a saber:

- Objetos e imagens reais: abscissa positiva.
- Objetos e imagens virtuais: abscissa negativa.
- Imagem direita: objeto e imagem com ordenadas de mesmo sinal.
- Imagem invertida: objeto e imagem com ordenadas de sinais contrários.
- Lentes convergentes: distância focal positiva.
- Lentes divergentes: distância focal negativa.

- Equação de Gauss:

Segundo Newton, Helou e Gualter (2012), assim como nos espelhos esféricos, a equação de Gauss relaciona as abscissas  $p$ ,  $p'$  e  $f$ .

$$1/f = 1/p + 1/p'$$

Como no caso dos espelhos esféricos, os autores supracitados citam que pode ser calculado o aumento linear transversal, ou seja, a grandeza que indica a relação entre as ordenadas da imagem e as ordenadas do objeto.

$$A = I/O$$

Os autores Newton, Helou e Gualter (2012, p. 424), recapitulam duas situações importantes acerca do aumento linear transversal:

- 1ª Situação: Aumento positivo.

Se  $A > 0$ , devemos ter:

- a)  $i$  e  $o$  com o mesmo sinal: a imagem é direita.  
 b)  $p$  e  $p'$  com sinais opostos: o objeto e a imagem têm naturezas opostas (se um é real o outro é virtual).

➤ 2ª Situação: Aumento negativo.

Se  $A < 0$ , devemos ter:

- a)  $i$  e  $o$  com sinais opostos: a imagem é invertida.  
 b)  $p$  e  $p'$  com o mesmo sinal: o objeto e a imagem têm a mesma natureza (ambos são reais ou ambos são virtuais).

Os autores Ramalho, Nicolau e Toledo (2015), definem vergência ou divergência, como a capacidade que a lente possui de desviar os raios que incidem sobre ela. Frisam, ainda, que “essa grandeza tem como unidade mais frequente a dioptria (di), que é o inverso do metro” (p. 360).

$$V = 1/f$$

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.

## 2.7. Equação dos fabricantes de lentes

Os autores Newton, Helou e Gualter (2012), citam que a equação dos fabricantes das lentes é “atribuída ao astrônomo inglês Edmond Halley (1656-1742). Afirmam ainda que essa equação permite calcular a abscissa 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” (p. 432).

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

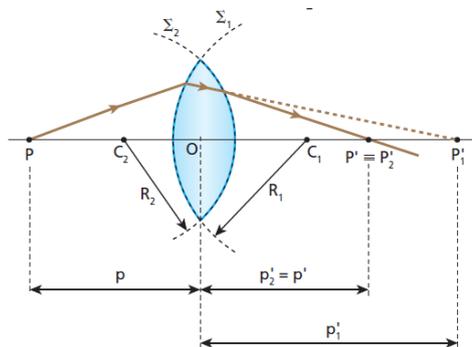
Pode ser escrita também em função da vergência da lente, a saber:

$$V = (N_{L,M} - 1) (1/R_1 + 1/R_2)$$

Os autores ainda mencionam que para as faces planas o raio de curvatura tende ao infinito. Outro detalhe é que para faces convexas, os raios de curvatura assumem valores positivos, enquanto que para faces côncavas, os raios de curvaturas assumem valores negativos.

Os autores Newton, Helou e Gualter (2012), trazem em sua literatura a demonstração da equação dos fabricantes das lentes, como se segue:

**Figura 5** – Ilustração de uma lente biconvexa, com seus respectivos raios de curvatura de cada face



Fonte: Newton, Helou e Gualter, 2012, p. 433.

Aplicando a equação do dióptro esférico (NEWTON, HELOU e GUALTER, 2012, p. 433-434), temos:

$$\frac{n_m}{p} + \frac{n_L}{p'_1} = \frac{n_L - n_m}{R_1} \quad (\text{I})$$

$$-\frac{n_L}{p'_1} + \frac{n_m}{p'_2} = \frac{n_L - n_m}{R_2} \quad (\text{II})$$

Somando (I) e (II), temos:

$$\frac{n_m}{p} + \frac{n_m}{p'_2} = (n_L - n_m) \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

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

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

Aplicando a equação de Gauss

$$\frac{1}{P} + \frac{1}{P'} = \frac{1}{f}$$

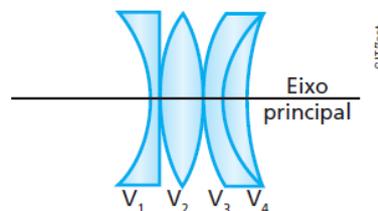
Teremos, no final:

$$\frac{1}{f} = (n_{L,m} - 1) \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \text{ (Equação de Halley)}$$

## 2.8 Associação de lentes esféricas

Newton, Helou e Gualter (2012), citam a importância das associações de lentes nos equipamentos sofisticados que temos hoje. Lembram, ainda, que uma lente esférica por si só já causa problemas de aberrações cromáticas, ou seja, distâncias focais distintas para cores diferentes. Essas aberrações podem ser minimizadas pela associação de lentes, que os autores em questão frisam que tais associações recebem o nome de justaposição, conforme ilustra a figura 6.

**Figura 6** – Ilustração de uma associação justaposta de lentes, com suas respectivas vergências



Fonte: Newton, Helou e Gualter, 2012, p. 434.

Ainda segundo os autores, a vergência de uma associação justaposta de lentes é calculada pela soma das vergências de cada lente associada. Esse cálculo é conhecido como teorema das vergências. Como se segue:

$$V = V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_N$$

Ou, ainda:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} + \dots + \frac{1}{f_n}$$

### **3. Metodologia**

#### **3.1 A descrição do produto educacional**

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, assim, que essa associação entre teoria e prática, produz uma maior eficácia no processo de ensino-aprendizagem da Física. Como dito anteriormente, a sequência didática apresentada nesse produto 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 dessa pesquisa fica a critério de cada docente. A descrição que se segue é uma sugestão de aplicação da referida sequência didática.

##### **1ª Etapa: Explicação inicial sobre a metodologia e aplicação do pré-teste**

No início do primeiro encontro o docente faz uma explicação breve de como será realizada toda a atividade. Em seguida, os alunos são submetidos a um pré-teste, aplicado em formulário específico (anexo no apêndice A) e com um tempo de resposta previamente estabelecido pelo docente. Esse pré-teste tem o objetivo de detectar os conhecimentos prévios que os estudantes possuem acerca das lentes esféricas. Após o preenchimento do formulário de pré-teste por parte dos alunos, 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: um suporte com canetas lasers, paralelas entre si (ver figura 7), folhas de papel milimetrado, caneta esferográfica comum, lápis, borracha, régua, folhas de papel ofício e uma calculadora.

Inicialmente, os grupos se dirigem a um microcomputador, onde recebem orientações e suporte técnico para desenhar as lentes esféricas, mediante um *software* denominado *RD Works* (ver figura 8). Cada grupo deve desenhar quatro lentes, sendo uma do tipo plano – convexa, outra do tipo plano – côncava, outra do tipo bicôncava e outra do tipo biconvexa. As dimensões de cada lente desenhada devem ser registradas e informadas pelos alunos no relatório de experimento (anexo no apêndice C).

Vale ressaltar que nessa etapa do desenho das lentes no *software*, os alunos devem ser auxiliados pelo próprio docente ou por alguém designado, que tenha o conhecimento técnico acerca do processo de desenho dessas figuras. Outro ponto a ser destacado é que a produção desses desenhos é extremamente simples e de fácil execução por parte de qualquer estudante, fazendo assim, com que não ajam atrasos na execução, nem tampouco dispersão por parte dos alunos.

Após o desenho das lentes no computador, esses desenhos são transmitidos via cabo *USB* para uma cortadora laser CNC, *Computer Numeric Control*, apresentada na figura 9. Nessa cortadora 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.

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 a velocidade de corte estejam compatíveis com as dimensões das lentes a serem confeccionadas. Na cortadora, o gás  $\text{CO}_2$  é liberado fazendo com que o canhão de laser corte a placa de acrílico nos formatos previamente desenhados no *software* computacional (ver figura 10).

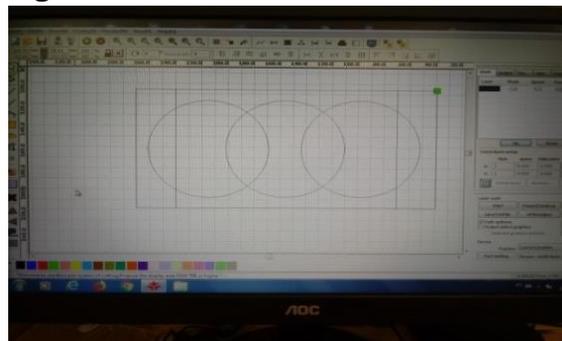
Após a cortadora encerrar o corte das lentes, cada grupo se apropria do seu conjunto de quatro lentes e se dirige às bancadas para dar início à aplicação do experimento. Vale salientar que como o processo de corte por parte da máquina é rápido, inclusive produzindo o corte de várias lentes num mesmo procedimento, não há prejuízo ao dinamismo da aula.

**Figura 7 - Suporte e canetas laser**



Fonte: acervo do autor.

**Figura 8 - Software RD Works**



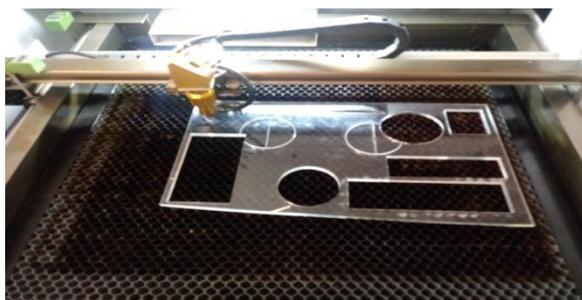
Fonte: acervo do autor.

**Figura 9 - Cortadora CNC laser**



Fonte: acervo do autor.

**Figura 10 - Corte da placa de acrílico**



Fonte: acervo do autor.

### **3ª Etapa: Aplicação do experimento em conjunto com a aula teórica**

Na sequência, vem à 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 do que, nessa etapa o protagonismo passa a ser do estudante e não do professor, fazendo, assim, com que o processo de aprendizagem seja bem mais significativo e consolidado.

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 o suporte com as canetas laser sobre a bancada de tal forma que fiquem todos os lasers direcionados para a parte plana da lente. Após a iluminação ambiente ser ajustada, os lasers são acionados em direção à lente. Os alunos devem ser orientados a observar e a marcar sobre o papel milimetrado o ponto de cruzamento dos raios emergentes da parte esférica da lente. Esse ponto deve ser identificado pelos alunos como foco real da lente e a distância desse ponto ao centro óptico da lente (parte central da superfície plana da lente), deve ser marcada no papel milimetrado, registrada no formulário de experimento, sendo denominada distância focal da lente.

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, o suporte com as canetas laser devem ser posicionadas de tal forma que os raios de laser sejam dirigidos a uma das partes esféricas da lente. Após a iluminação ambiente ser regulada, os lasers são acionados em direção à lente. Os alunos devem observar o ponto em que os raios lasers se cruzam após emergirem da lente, devendo concluir que esse ponto é o foco real dessa lente. Esse ponto deve ser observado e marcado sobre o papel milimetrado. Os alunos devem, também, marcar a distância desse ponto ao centro óptico da lente (ponto central da lente), sendo essa a distância focal real da lente.

É importante lembrar que os conceitos físicos que forem aparecendo mediante à aplicação do experimento, devem ser ensinados pelo docente à medida que forem sendo constatados pelos alunos. Nesse momento da aula é interessante que o docente faça uma intervenção indagando os grupos acerca do que eles observaram de semelhança entre os raios emergentes nas duas

lentes testadas. Essa intervenção tem o objetivo de verificar se os alunos observaram que as duas lentes são do tipo convergente, pois nos dois casos houve convergência dos raios emergentes.

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. Após a iluminação ambiente ser ajustada e o suporte com as canetas laser ser posicionada de tal forma que os raios estejam direcionados para a parte plana da lente, esses lasers são acionados.

Os grupos devem observar que após os raios emergirem da lente, os mesmos divergem, porém com um ponto de cruzamento correspondente ao prolongamento desses raios emergentes, devem marcar, portanto, sobre o papel milimetrado a localização desse ponto e perceber que esse ponto corresponde ao foco virtual da lente.

Outra informação que deve ser registrada no formulário de experimento é a distância desse ponto de cruzamento até o centro óptico da lente (ponto central da superfície plana da lente). Os grupos devem registrar essa distância como distância focal virtual da lente. Na sequência, a lente do tipo plano - convexa 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.

Após um ajuste na iluminação do ambiente e o posicionamento do suporte com as canetas laser, direcionadas para uma das faces esféricas da lente, os lasers são acionados. Os grupos devem observar que os raios emergentes da lente divergem, porém com um ponto de cruzamento entre os prolongamentos desses raios. Esse ponto de cruzamento entre os prolongamentos dos raios emergentes da lente deve ser marcado sobre o papel milimetrado, fazendo também a medição da distância entre esse ponto e o centro óptico da lente (parte central da lente). Essa distância deve ser registrada no formulário de experimento, sendo identificada como distância focal virtual da lente.

Nesse momento é interessante uma nova intervenção por parte do docente, indagando novamente aos grupos o que eles observaram de semelhante entre as duas últimas lentes experimentadas. Essa intervenção visa constatar se os alunos observaram que se tratava de duas lentes divergentes, já que nas duas situações houve uma divergência por parte dos raios refratados na lente.

Outra indagação pertinente por parte do docente é sobre as diferenças entre as duas primeiras lentes e as duas últimas a serem testadas. O objetivo desta indagação é perceber se os alunos observaram que as lentes de bordas finas possuem o comportamento convergente e as lentes de bordas grossas possuem o comportamento divergente.

Também é propício estimular a indagação de que se as lentes estivessem inseridas em um meio mais refringente que o material de sua confecção, o comportamento das lentes seria o oposto do que foi observado. Essa indagação tem o intuito de esclarecer aos alunos que o conceito de convergência e divergência depende da relação das refrações entre a lente e o meio onde ela está imersa.

#### **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 os dados colhidos na prática experimental e registrados no formulário de experimento, podendo assim, fazer uma verificação matemática dos resultados obtidos.

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 faça algumas

considerações a cerca do conceito de índice de refração de um meio, bem como faça a apresentação da equação dos fabricantes de lentes, mencionando que sua origem é atribuída a René Descartes, fazendo também a explicação de cada termo da referida equação.

Para dar início a essa última etapa, os grupos devem ser orientados a se munirem de seus relatórios de experimentos, com as devidas anotações realizadas durante a atividade. O docente deve pedir que cada grupo, utilizando os valores registrados no formulário de experimento, calcule o valor do índice de refração de cada lente testada. Esse cálculo deve ser feito utilizando a equação dos fabricantes de lentes. 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 testada, 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 intervenção do docente, compartilhando com os alunos o fato de que o material que compõe a lente influencia no valor da distância focal dessa lente. Após o término dessa etapa, o docente deve fazer o recolhimento do formulário de experimento e submeter cada aluno a um pós-teste, parte integrante do apêndice B.

### **5ª Etapa: Aplicação do pós-teste e debate de idéias**

O pós-teste servirá de parâmetro para uma mensuração do progresso de aprendizagem alcançado com todo o processo. Essa análise comparativa entre o pré e o pós-teste, possibilitará ao docente uma diagnose mais precisa do processo ensino-aprendizagem que foi proposto, revelando, assim, os pontos onde houve progresso, como também aqueles em que não houve avanço.

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 um 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.

#### 4. Referências Bibliográficas

AUSUBEL, D.P. (1968). **Educational psychology**: a cognitive view. New York, Holt, Rinehart and Winston.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física** - Vol. 4 - Óptica e Física Moderna. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

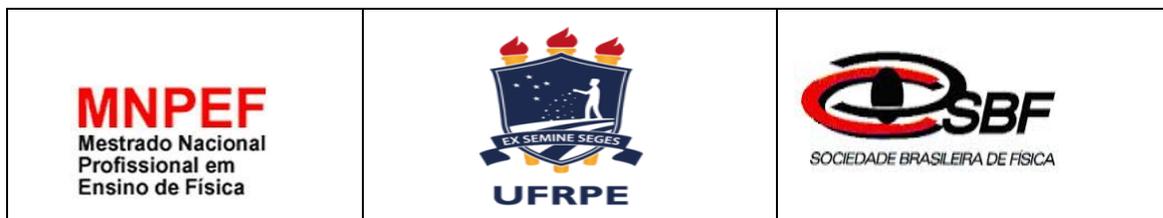
HELOU, R.; GUALTER, J. B.; NEWTON, V. B. **Tópicos de Física** - Volume 1. Saraiva Didático; 2012. Edição: 21<sup>a</sup>.

RAMALHO; NICOLAU; TOLEDO. **Fundamentos da Física**, Vol. 2 - Moderna Plus, 2015.

VILLAS BÔAS, Newton. **Tópicos de física**: volume 2 / Newton Villas Bôas, Ricardo Helou Doca, Gualter José Biscuola. — 19. ed. — São Paulo : Saraiva, 2012.

## 5. Apêndices

### 5.1. Apêndice A - Formulário do pré-teste



**Aluno:**

---

**Professor:**

---

#### Formulário de 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. O que determina uma lente esférica ser convergente é o fato dela**

- a) ter bordas grossas.
- b) ter bordas finas.
- c) ter um índice de refração em relação ao meio em que ela está inserida, que favoreça a convergência.
- d) ter um índice de refração em relação ao meio em que ela está inserida, que favoreça a divergência.

**4. O que determina uma lente esférica ser divergente é o fato dela**

- a) ter bordas grossas.
- b) ter bordas finas.
- c) ter um índice de refração em relação ao meio em que ela está inserida, que favoreça a convergência.
- d) ter um índice de refração em relação ao meio em que ela está inserida, que favoreça a divergência.

**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 de luz em um ponto específico, denominado centro óptico da lente.
- b) cruzamento dos raios de luz em um ponto específico, denominado foco principal real da lente.
- c) cruzamento dos prolongamentos dos raios de luz, denominado centro óptico da lente.
- d) cruzamento dos prolongamentos dos raios de luz, 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 de luz refratados em um ponto específico, denominado centro óptico da lente.

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

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

d) cruzamento dos prolongamentos dos raios de luz 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. O que determina uma lente esférica ser convergente é o fato dela

- a) ter bordas grossas.

b) ter bordas finas.

c) ter um índice de refração em relação ao meio em que ela está inserida, que favoreça a convergência.

d) ter um índice de refração em relação ao meio em que ela está inserida, que favoreça a divergência.

#### **4. O que determina uma lente esférica ser divergente é o fato dela**

a) ter bordas grossas.

b) ter bordas finas.

c) ter um índice de refração em relação ao meio em que ela está inserida, que favoreça a convergência.

d) ter um índice de refração em relação ao meio em que ela está inserida, que favoreça a divergência.

#### **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 de luz em um ponto específico, denominado centro óptico da lente.

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

c) cruzamento dos prolongamentos dos raios de luz, denominado centro óptico da lente.

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

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

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

d) cruzamento dos prolongamentos dos raios de luz 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 aluno tem 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 sobre as 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  $\cong 1,00$

Equação dos fabricantes de lentes:

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

**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 à 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  $\cong 1,00$

Equação dos fabricantes de lentes:

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

**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  $\cong 1,00$

Equação dos fabricantes de lentes:

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

**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  $\cong 1,00$

Equação dos fabricantes de lentes:

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

**Raio de curvatura:** \_\_\_\_\_

**Distância focal:** \_\_\_\_\_

**Cálculos:**

**Índice de refração da lente:**

**Conclusões:**

Com base nas suas observações e cálculos, indique o valor médio experimental do índice de refração do material que compõe a lente.

**Valor médio do índice de refração:**