



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS  
DEPARTAMENTO DE FÍSICA

ATIVIDADES PARA FIXAÇÃO DE APRENDIZADO DOS EXPERIMENTOS DE  
FÍSICA EXPERIMENTAL IV – PARTE II

Professores Participantes:

Alice Sizuko Iramina

Antonio Medina Neto

Francielle Sato

Gustavo Sanguino Dias

Wilson Ricardo Weinand

Maringá, outubro de 2017

| Nome | RA | Curso/Turma |
|------|----|-------------|
|      |    |             |

## Experimento V – Espelhos Esféricos.

*Objetivos:* Determinação da distância focal ( $f$ ) e caracterização das imagens formadas por espelho côncavo

**Observação:** Antes de iniciar os experimentos de ótica certifique-se que todos componentes estejam fixados em seus respectivos suportes e posicionados de forma adequada ao banco ótico, quando necessário. Não toque diretamente a face do espelho, caso necessário limpe sua superfície com um papel macio sem a utilização de solventes.

### A. Medida direta ( $o \rightarrow \infty$ ): Objeto no infinito

Sobre a mesa, posicione o espelho em direção ao objeto no infinito e encontre a imagem projetada mais nítida no anteparo. Anote a distância do espelho ao anteparo ( $i$ ) na Tabela;

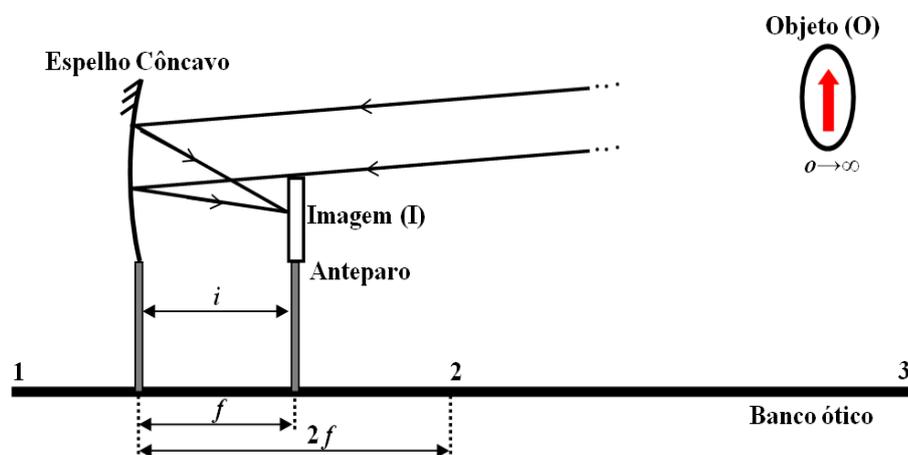


Figura 1. Montagem para medida com  $o \rightarrow \infty$ .

### B. Medida indireta ( $o = 2f$ ): Objeto no centro de curvatura (C)

No banco ótico sobre a mesa, posicione o anteparo vazado, o objeto e o espelho, conforme indica a Fig. 2. Note que o anteparo e o objeto estão no mesmo plano. Desloque o espelho no banco ótico até formar a imagem projetada mais nítida no anteparo. Anote a distância do espelho ao anteparo ( $i$ ) na Tabela;

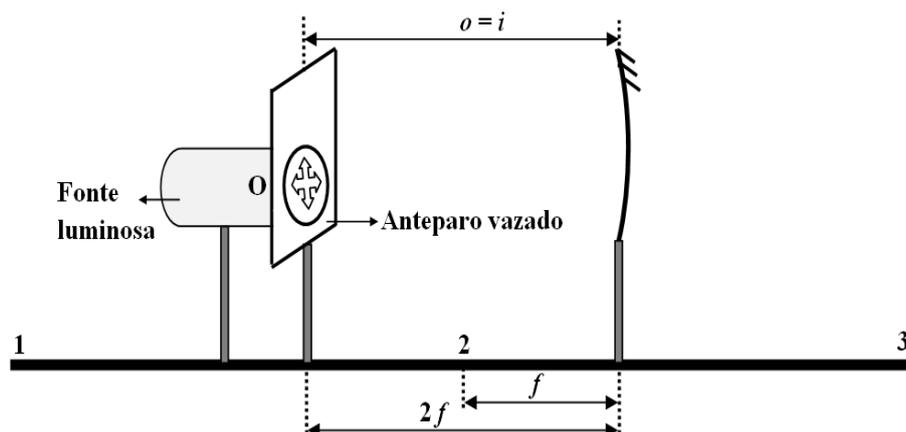


Figura 2. Montagem para medida com  $o = 2f$ .

C. Medida indireta ( $f < o < 2f$ ): Objeto entre o foco ( $f$ ) e o centro de curvatura

Remova o anteparo vazado e posicione o outro anteparo sobre a mesa, fora do banco ótico, ao lado do objeto. Aproxime o espelho do objeto a uma distância equivalente de  $1,5 f$ , sendo  $f$  a distância focal do espelho obtida no item “A”, anote este valor na Tabela. Desloque o anteparo até encontrar a imagem projetada mais nítida no mesmo. Anote a distância do espelho ao anteparo na Tabela. Meça também o tamanho do objeto ( $O$ ) e o tamanho da imagem ( $I$ ) formada no anteparo, e anote na Tabela;

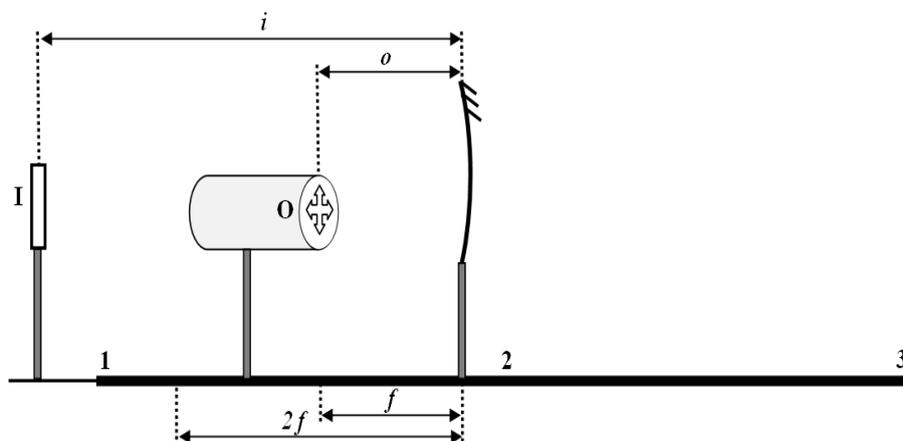


Figura 3. Montagem para medida com  $f < o < 2f$

D. Medida indireta ( $o < f$ ): Objeto entre o foco e o vértice ( $V$ )

Com a mesma montagem do item “C”, aproxime o espelho do objeto até uma distância que seja equivalente a  $0,5 f$ , sendo  $f$  a distância obtida no item “A”. Procure a imagem projetada mais nítida no anteparo.

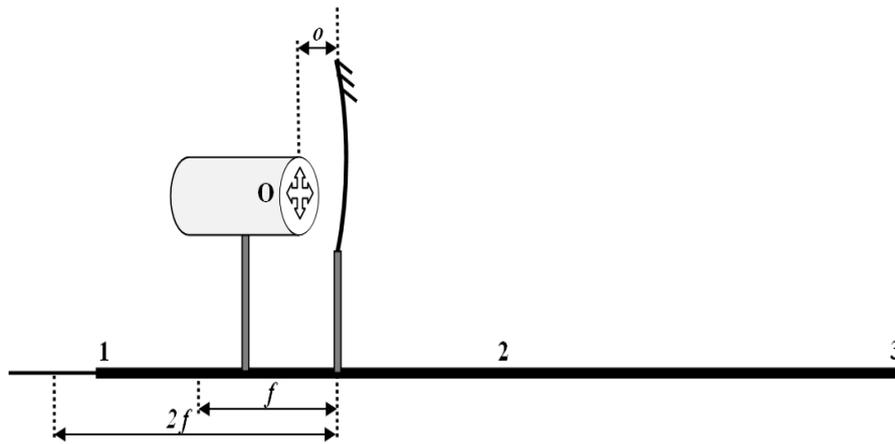


Figura 4. Montagem para medida com  $o < f$ .

(Método da Paralaxe) Caso a imagem não possa ser projetada no anteparo, remova o objeto e o espelho do banco óptico, e posicione os dois pinos que se encontram sobre sua bancada. Alinhe os pinos com relação à altura e lateralidade, conforme mostra a Fig. 5(a). Posicione o espelho novamente no banco óptico, entre os dois pinos, mantendo uma distância de aproximadamente  $0,5 f$  entre o espelho e o pino mais próximo de você,  $f$  é a distância focal obtida no item “A”. Encontre a imagem do pino mais nítida formada no espelho. Lembre-se esta imagem é do pino próximo a você. Feito isso, fixe seu olhar na imagem formada no espelho e posicione o segundo pino de forma que a imagem do primeiro pino e o segundo se sobreponham. Após este alinhamento movimente levemente sua cabeça para os lados e verifique se a imagem move-se com relação ao segundo pino, caso isso ocorra mova o segundo pino, para frente ou para trás, até que a imagem no espelho e o segundo pino se sobreponham. A posição correta entre a imagem formada no espelho e o segundo ocorre quando ao mover sua cabeça lateralmente, a imagem e o segundo pino permaneçam alinhados. Depois de alinhado o sistema anote na Tabela as distâncias do objeto ao espelho e do espelho ao segundo pino.

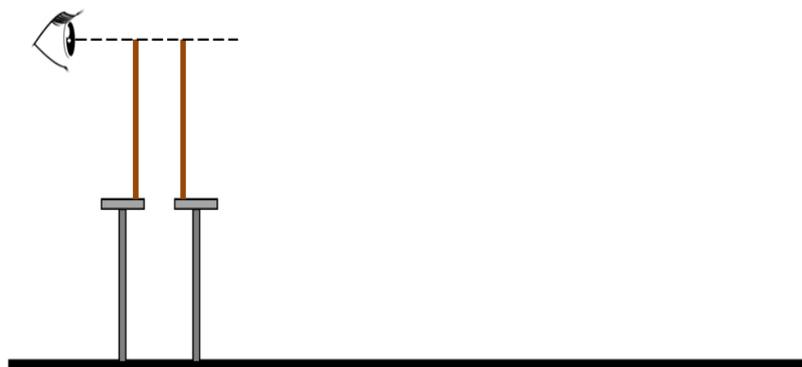


Figura 5(a). Alinhamento para o método da paralaxe

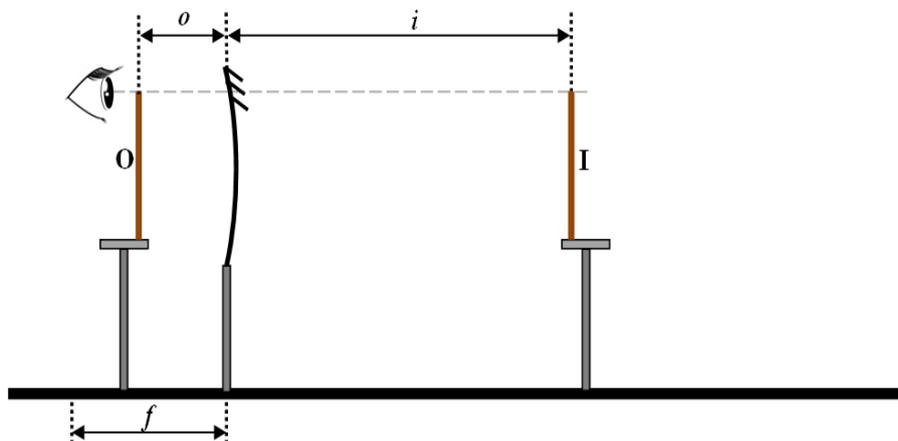


Figura 5(b). Montagem para o método da paralaxe.

### Discussão dos dados obtidos:

- 1) Para cada situação estudada, encontre a distância focal ( $f$ ) do espelho côncavo utilizado, e complete a tabela de dados.
- 2) Meça o tamanho do objeto e da imagem obtida para o caso de  $f < o < 2f$ . Obtenha a ampliação e compare com o obtido por meio da equação  $m = -\frac{i}{o}$ .
- 3) Construa graficamente, utilizando um diagrama de raios principais, as imagens formadas em cada um dos procedimentos (A, B, C e D) realizados no experimento.
- 4) Baseado nas observações e no item 3), explique o que acontece com a imagem, quando o objeto se aproxima do espelho, desde o infinito até o vértice.
- 5) Qual dos métodos, utilizados no experimento, você sugeriria para obter a distância focal de um espelho convexo? Justifique sua resposta.
- 6) Usando as equações para os espelhos esféricos na aproximação paraxial, ou seja,

$$\frac{1}{o} + \frac{1}{i} = \frac{1}{f} \quad m = -\frac{i}{o}$$

mostre que um espelho plano sempre fornece, de um objeto real, uma imagem virtual, direita e do mesmo tamanho que o objeto.

- 7) Usando a equação da ampliação para os espelhos esféricos na aproximação paraxial, mostre que:
  - a) toda imagem real é invertida;
  - b) toda imagem virtual é direita.

Tabela I

|                              | Formação de imagem no espelho côncavo |                 |              |          |
|------------------------------|---------------------------------------|-----------------|--------------|----------|
|                              | Medida direta                         | Medida indireta |              |          |
|                              | $o \rightarrow \infty$                | $o = 2f$        | $f < o < 2f$ | $o < f$  |
|                              |                                       | $o =$ cm        | $o =$ cm     | $o =$ cm |
| Posição da Imagem ( $i$ ) cm |                                       |                 |              |          |
| Distância Focal ( $f$ ) cm   |                                       |                 |              |          |
| Características da Imagem    |                                       |                 |              |          |
| Tamanho da Imagem (I) cm     |                                       |                 |              |          |
| Tamanho do Objeto (O) cm     |                                       |                 |              |          |
| Ampliação (m)                |                                       |                 |              |          |

| Nome | RA | Curso/Turma |
|------|----|-------------|
|      |    |             |

## Experimento VI – Lentes.

*Objetivos:* Determinação da distância focal ( $f$ ) e caracterização das imagens formadas por lentes: convergente e divergente

### Observação:

- Antes de iniciar os experimentos de óptica certifique-se que todos componentes estejam fixados em seus respectivos suportes e posicionados de forma adequada ao banco óptico, quando necessário. Não toque diretamente com os dedos nas faces das lentes, caso necessário limpe as superfícies com um papel macio sem a utilização de solventes;
- Procure sempre colocar os centros de todos os elementos à mesma altura;
- Para deslocar a imagem, lateralmente, aplique uma pequena rotação no espelho;
- Para deslocar a imagem, verticalmente, levante ou abaixe a lente.

### I. Lente convergente biconvexa

#### A. Medida direta: Objeto no infinito ( $o \rightarrow \infty$ )

Coloque a lente convergente ( $L_1$ ) e o anteparo (A), nos respectivos suportes. Sobre a mesa, oriente  $L_1$  para a seta (objeto) no fundo da sala, ou para um outro objeto distante. Com o anteparo atrás da lente (Fig. 1), desloque o mesmo até obter uma imagem nítida do objeto. Meça com a trena a distância ( $i$ ) do anteparo à lente, e anote na Tabela I.  $f_c$  é a distância focal da lente convergente biconvexa ( $f_c = i$ ).

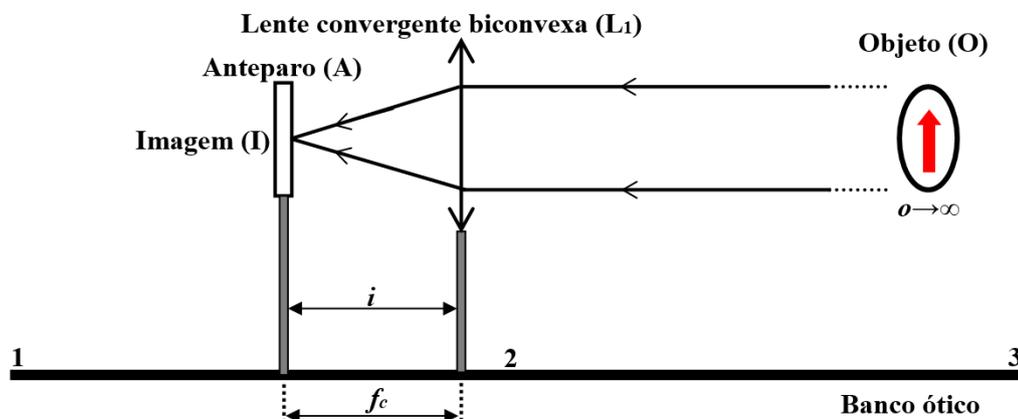


Figura 1. Montagem experimental para obtenção da distância focal de uma lente convergente biconvexa com o objeto no infinito.

**B. Medida direta: Objeto no foco ( $o = f$ ) – Método da autocolimação**

Numa das extremidades do banco óptico coloque a fenda ( objeto - O ) iluminado pelo lâmpada e na outra extremidade o espelho plano, interceptando o feixe de luz, em seguida introduza a lente  $L_1$ , conforme mostra a Fig.2. Aproxime  $L_1$ , em direção ao objeto de modo que os raios refletidos pelo espelho retornem através da  $L_1$  e formem a imagem do objeto ao lado do mesmo. Meça e anote, na Tabela I, a distância entre o objeto/imagem e a lente.

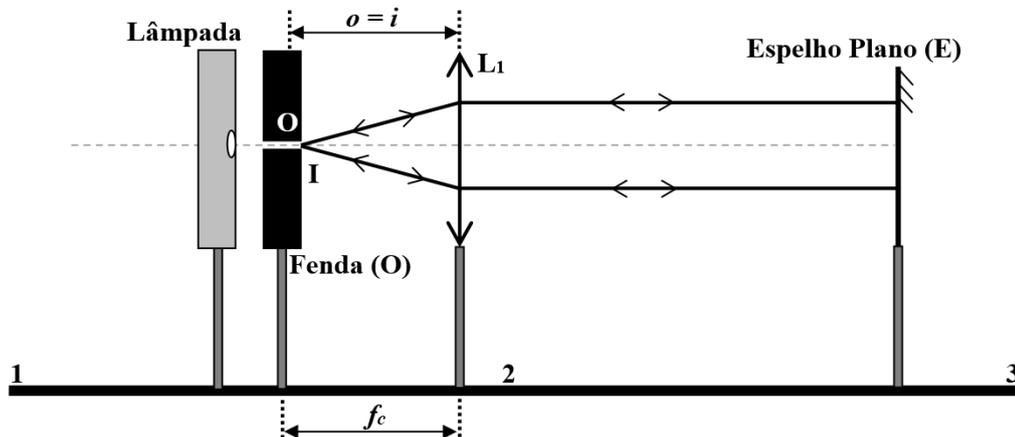


Figura 2. Montagem experimental para obtenção da distância focal de uma lente convergente biconvexa com o objeto no foco.

**C. Medida direta: Imagem no foco ( $i = f$ ) – Método do ponto focal**

Substitua a  $L_1$  por uma lente plano-convexa ( $L_{pc}$ ). Ajuste a posição da mesma até obter, pelo método da autocolimação, um feixe paralelo de luz, na direção do banco óptico (Fig. 3(a)). Substitua o espelho pela lente  $L_1$  e insira o anteparo, no banco óptico, conforme a Fig. 3(b). Desloque a lente  $L_1$  e/ou o anteparo, até obter uma imagem nítida do objeto no anteparo. Meça e anote, na Tabela I, a distância da lente  $L_1$  ao anteparo.

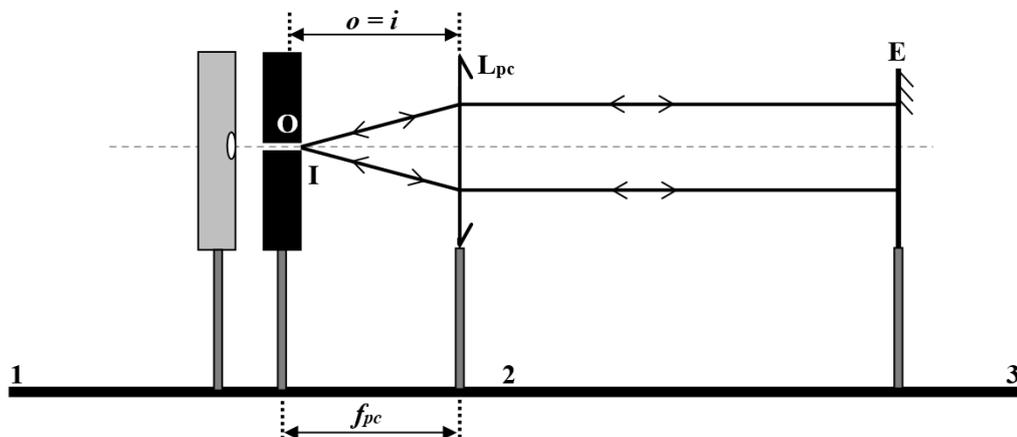


Figura 3(a).

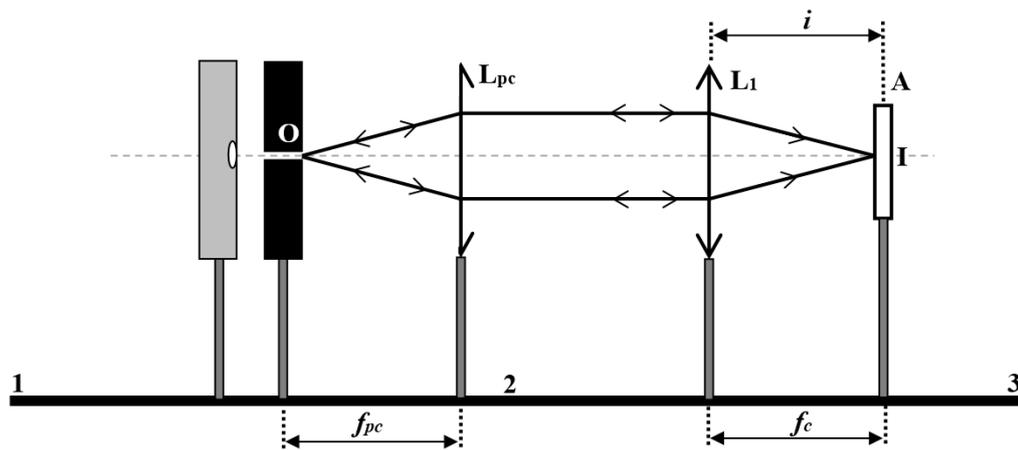


Figura 3(b). Montagem experimental para obtenção da distância focal de uma lente convergente biconvexa com a imagem formada no foco.

*D. Medida indireta: ( $i > o$ ) e ( $i < o$ )*

Retire a lente plano-convexa. Aproxime a lente  $L_1$  do anteparo, até obter uma imagem nítida e diminuída (Fig. 4(a)). Meça e anote, na Tabela II, as distâncias da lente  $L_1$  ao objeto ( $o$ ) e de  $L_1$  até o anteparo ( $i$ ). Em seguida, desloque agora a lente  $L_1$  em direção ao objeto (Fig. 4(b)), até obter uma imagem nítida e aumentada no anteparo. Meça novamente as distâncias  $o$  e  $i$  e anote na Tabela II.

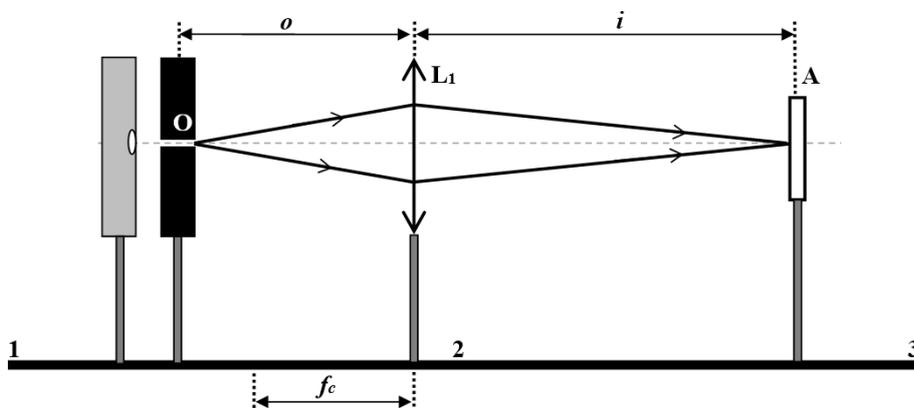


Figura 4(a). Montagem experimental para obtenção da distância focal de uma lente convergente biconvexa por medida indireta.

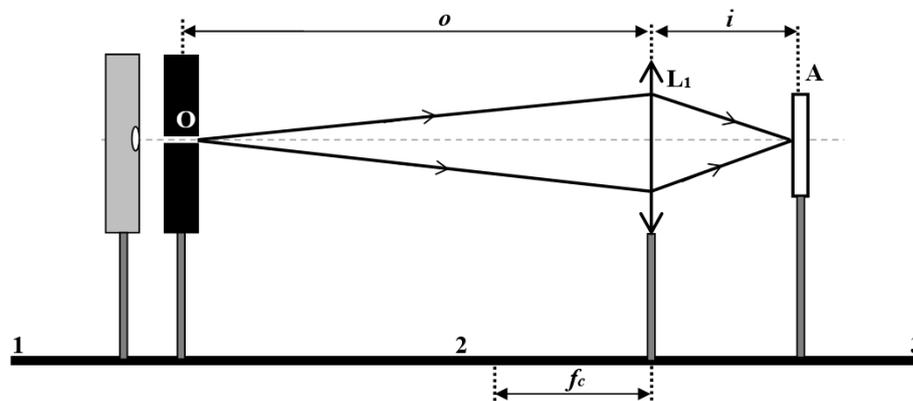


Figura 4(b). Montagem experimental para obtenção da distância focal de uma lente convergente biconvexa por medida indireta.

## II. Lente divergente bicôncava

### E. Medida indireta: Objeto no infinito ( $o \rightarrow \infty$ ) – Vergência de um sistema de lentes de justapostas

Justaponha uma lente divergente bicôncava ( $L_2$ ) à lente biconvexa  $L_1$ . Não apertar muito as lentes.

Sobre a mesa e, como no método A, oriente o sistema de lentes justapostas (Fig. 5) para algum objeto distante. Procure captar uma imagem nítida do objeto, no anteparo. Meça a distância ( $i$ ) do anteparo à parte central do sistema de lentes e anote na Tabela III. Está é, também, a distância focal do sistema ( $\mathcal{F} = i$ ).

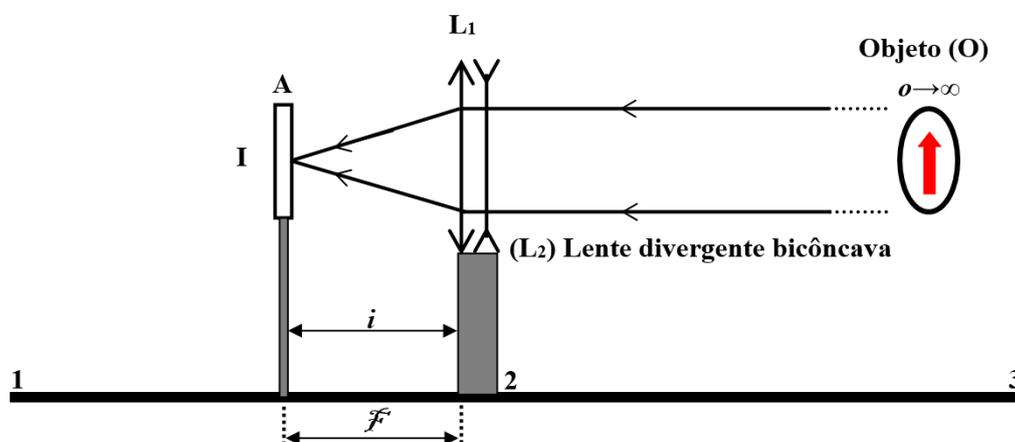


Figura 5. Montagem experimental para a medição da distância focal de uma lente divergente bicôncava com lentes justapostas.

### F. Medida indireta: Objeto virtual para uma lente divergente.

Ilumine o objeto O com a lâmpada, posicionando a lente biconvexa  $L_1$  e o anteparo  $A_1$  no banco óptico até obter uma imagem nítida em  $A_1$  (Fig. 6(a)). **Dica:** posicione a lente  $L_1$  a uma distância duas vezes maior que sua  $f_c$ , com relação ao objeto  $O_1$ . Meça a distância ( $i_1$ ) do  $A_1$  à lente  $L_1$  e anote na Tabela III. Coloque agora, a lente bicôncava  $L_2$  entre a lente biconvexa  $L_1$  e o anteparo  $A_1$ , a uma

distância maior que a distância focal da lente biconvexa ( $f_c$ ) obtida no item “E”, conforme mostra a Fig. 6(b). Se não houver espaço suficiente, afaste o anteparo  $A_1$ , e não a lente  $L_2$ . Ajuste o anteparo  $A_1$ , para obter uma imagem nítida no mesmo. Meça a distância ( $i_2$ ) do anteparo  $A_1$  à lente biconcava  $L_2$  e a distância ( $d$ ) entre as lentes e, anote na Tabela III.

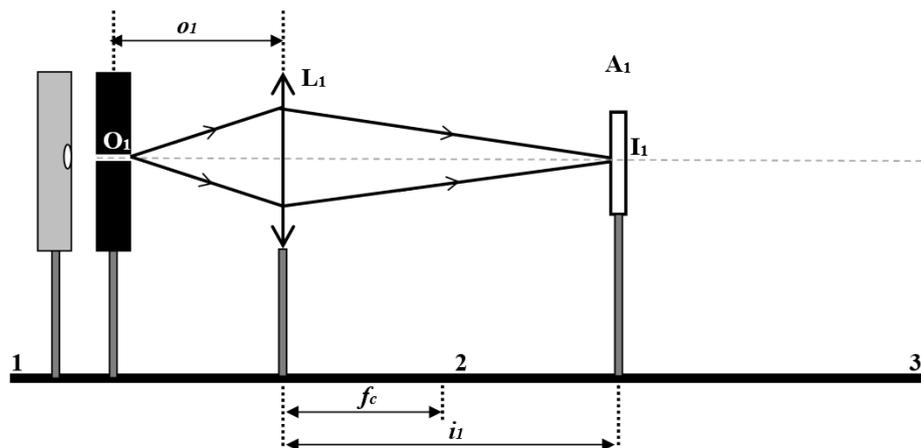


Figura 6(a). Montagem experimental para a formação de uma imagem real por uma lente convergente biconvexa.

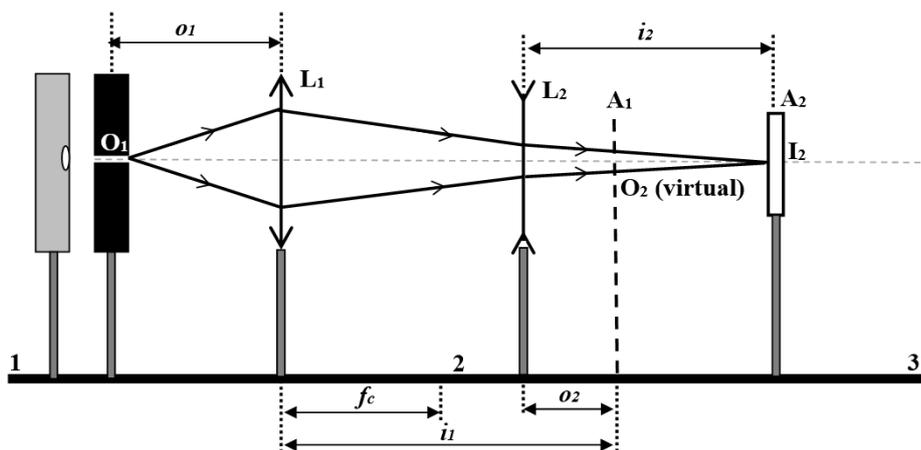


Figura 6(b). Montagem experimental para a obtenção da distância focal de uma lente divergente biconcava utilizando um objeto virtual.

*G. Experimento complementar para medida indireta em uma lente divergente: Objeto virtual para uma lente divergente.*

Em seguida posicione a lente divergente ( $L_2$ ) entre  $L_1$  e  $A_1$  nas posições  $P_1$ ,  $P_2$  e  $P_3$  indicadas na Fig. 7, respectivamente. Note que  $P_1$ ,  $L_1$  está mais próxima de  $A_1$ , em  $P_2$  mais próxima de  $F_1$  e em  $P_3$  entre o vértice e o foco de  $L_1$ . Obtenha as imagens ( $I_2$ ) para cada posição, e anote suas medidas na Tabela III.

**Observações:** a) Mantenha fixa a distância entre  $O_1$  e  $L_1$ ; b) imagem virtual e objeto virtual fornecem valores negativos com relação à posição da lente.

Tabela I: Dados para a lente convergente para os métodos de medida direta:

| Medida direta                                    |                              |                                   |
|--|------------------------------|-----------------------------------|
| Objeto no infinito<br>( $o \rightarrow \infty$ ) | Autocolimação<br>( $o = f$ ) | Ponto focal Imagem<br>( $i = f$ ) |
| $o$  | $o$                          | $o$                               |
| $i = \pm \text{ cm}$                             | $i = \pm \text{ cm}$         | $i = \pm \text{ cm}$              |
| $f = \pm \text{ cm}$                             | $f = \pm \text{ cm}$         | $f = \pm \text{ cm}$              |

Tabela II: Dados para a lente convergente para o método de medida indireta:

| Medida Indireta      |                      |
|----------------------|----------------------|
| Imagem > Objeto      | Imagem < Objeto      |
| $o = \pm \text{ cm}$ | $o = \pm \text{ cm}$ |
| $i = \pm \text{ cm}$ | $i = \pm \text{ cm}$ |
| $f = \pm \text{ cm}$ | $f = \pm \text{ cm}$ |

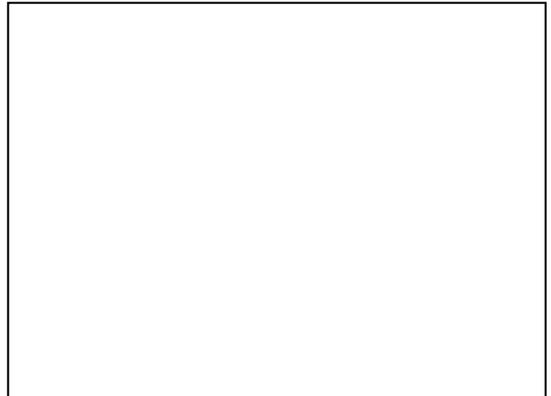
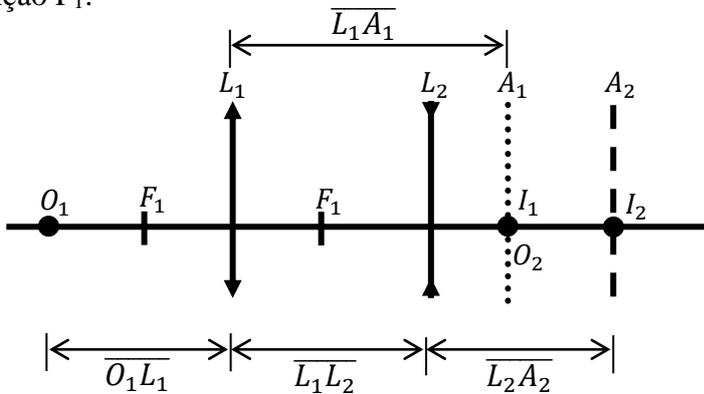
Tabela III: Dados para a lente divergente:

| Objeto Real ( $o \rightarrow \infty$ ) (lentes justapostas) |                           |                           |                           |            |                           |            |
|---|---------------------------|---------------------------|---------------------------|------------|---------------------------|------------|
| $\mathcal{F}(\text{cm})$                                    | $f_c(\text{cm})$          |                           | $f_d(\text{cm})$          |            |                           |            |
| $\pm$   | $\pm$                     |                           | $\pm$                     |            |                           |            |
| Objeto Virtual  |                           |                           |                           |            |                           |            |
| Posição da $L_2$  | $\overline{O_1 L_1}$ (cm) | $\overline{L_1 A_1}$ (cm) | $\overline{L_1 L_2}$ (cm) | $f_2$ (cm) | $\overline{L_2 A_2}$ (cm) | $o_2$ (cm) |
| P <sub>1</sub>  | $\pm$                     | $\pm$                     | $\pm$                     |            | $\pm$                     | $\pm$      |
| P <sub>2</sub>  | $\pm$                     | $\pm$                     | $\pm$                     |            | $\pm$                     | $\pm$      |
| P <sub>3</sub>  | $\pm$                     | $\pm$                     | $5,00 \pm 0,05$           |            | $\pm$                     | $\pm$      |

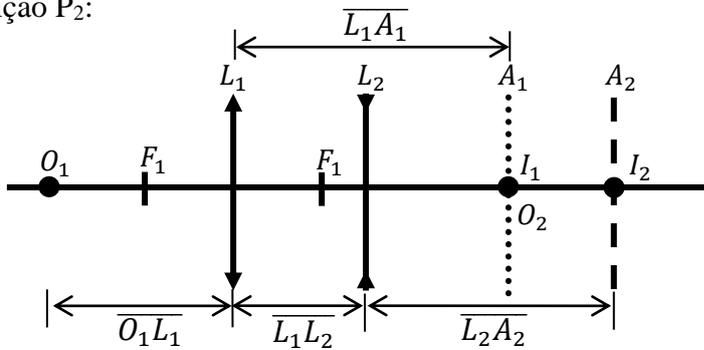
$$o_2 = \overline{L_1 A_1} - \overline{L_1 L_2}$$

Baseado nos dados da Tabela III calcule o valor da distância focal da lente divergente ( $f_d$ ) e descreva as características das imagens obtidas:

Posição P<sub>1</sub>:



Posição P<sub>2</sub>:



Posição P<sub>3</sub>:

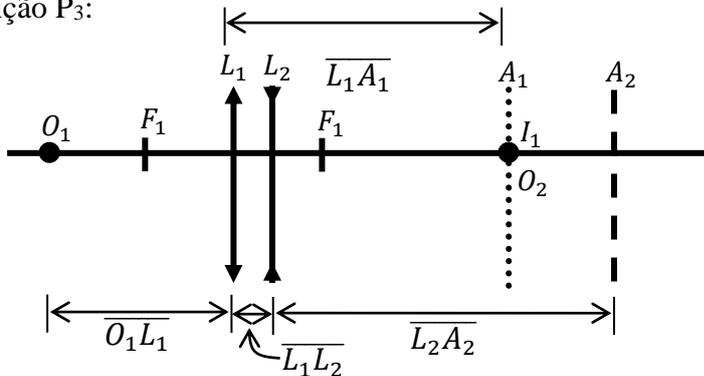


Figura 7: Posições para a lente divergente

Legenda:

- $O_I$ : Objeto para lente convergente ( $L_I$ );
- $F_I$ : Foco imagem e objeto de  $L_I$ ;
- $A_I$ : Anteparo para a formação da imagem de  $L_I$ ;
- $I_I$ : Imagem do  $O_I$ ;
- $O_2$ : Objeto virtual para a lente divergente ( $L_2$ )
- $I_2$ : Imagem do  $O_2$

### Discussão dos dados obtidos:

- 1) Complete as tabelas I e II. Compare os valores obtidos para distância focal ( $f$ ) da lente biconvexa pelos diferentes métodos. Discuta quais dos métodos fornece o valor para distância focal mais próximo ao valor nominal.
- 2) Utilizando a equação para lente delgada, mostre que a distância focal medida pelo método de autocolimação é relativa ao ponto focal objeto ( $F_o$ ).
- 3) Por que no método de medida indireta existem duas posições para a lente, nas quais se observa a imagem no anteparo?
- 4) Para todos os métodos utilizados para a lente convergente, faça a determinação gráfica da imagem utilizando o diagrama de raios principais.
- 5) Complete a tabela III. Compare os valores obtidos para a distância focal da lente divergente nos diferentes métodos (E e F) e o seu valor nominal.
- 6) Faça a determinação das imagens, usando o diagrama de raios principais, para o método “E” ( $o \rightarrow \infty$ ).
- 7) Faça o diagrama de raios principais para o método “G”, para cada posição da lente divergente ( $P_1$ ,  $P_2$  e  $P_3$ ) e discuta sobre cada um dos casos relacionando a posição da lente divergente com o objeto virtual, com imagem formada do mesmo e a distância focal da lente divergente.

| Nome | RA | Curso/Turma |
|------|----|-------------|
|      |    |             |

## Experimento VII – Polarização.

### Parte 1 – Lei de Malus:

A intensidade da luz ao atravessar dois polarizadores cujos eixos ópticos formam um ângulo  $\theta$  entre si é dada pela lei de Malus:

$$I(\theta) = I_{max} \cos^2(\theta) \quad (1)$$

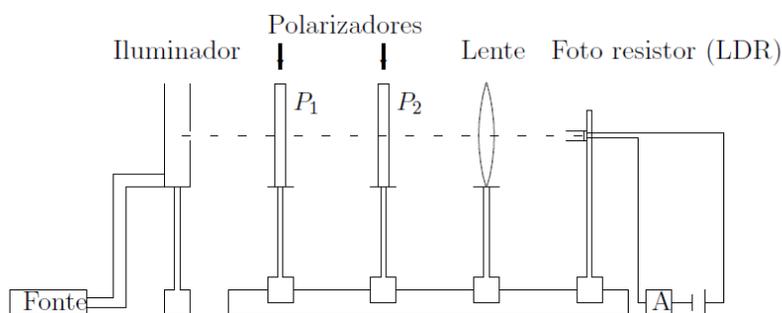


Figura 1. Esquema da montagem para verificação da lei de Malus.

### Procedimento:

- I. Monte o sistema conforme a Fig. 1, alinhando o sistema de modo que o LDR (sensor) fique no plano focal da lente e conecte-o a escala 10X do amperímetro.
- II. Zere o ângulo do analisador ( $P_2$ ), e ajuste o ângulo do polarizador ( $P_1$ ) para obter o máximo de intensidade no amperímetro. Nesta situação os eixos ópticos dos polarizadores  $P_1$  e  $P_2$  estão paralelos.
- III. Com os polarizadores alinhados, ajuste a tensão da fonte de modo que a corrente no amperímetro seja 1, ou seja 100% de transmissão.

IV. Meça os valores da intensidade  $I_{\text{experimental}}$  em função do ângulo entre os polarizadores ( $\theta$ ) no intervalo de  $0^\circ$  a  $360^\circ$ , a cada  $10^\circ$ , e anote na Tabela I.

Tabela I. Intensidade relativa ( $I/I_m$ ) da luz após o analisador ( $P_2$ ).

| $\theta$ (graus) | $I_{\text{experimental}}$ (%) | $I_{\text{teórica}}$ (%) |
|------------------|-------------------------------|--------------------------|
| 0                |                               |                          |
| 10               |                               |                          |
| 20               |                               |                          |
| 30               |                               |                          |
| 40               |                               |                          |
| 50               |                               |                          |
| 60               |                               |                          |
| 70               |                               |                          |
| 80               |                               |                          |
| 90               |                               |                          |
| 100              |                               |                          |
| 110              |                               |                          |
| 120              |                               |                          |
| 130              |                               |                          |
| 140              |                               |                          |
| 150              |                               |                          |
| 160              |                               |                          |
| 170              |                               |                          |

|     |  |  |
|-----|--|--|
| 180 |  |  |
| 190 |  |  |
| 200 |  |  |
| 210 |  |  |
| 220 |  |  |
| 230 |  |  |
| 240 |  |  |
| 250 |  |  |
| 260 |  |  |
| 270 |  |  |
| 280 |  |  |
| 290 |  |  |
| 300 |  |  |
| 310 |  |  |
| 320 |  |  |
| 330 |  |  |
| 340 |  |  |
| 350 |  |  |
| 360 |  |  |

### Discussão dos dados obtidos na Parte 1:

- 1) A partir da análise da decomposição do vetor campo elétrico da onda eletromagnética que atravessa os polarizadores e usando o fato que a intensidade da onda é proporcional ao quadrado de sua amplitude, demonstre a lei de Malus (equação (1)).
- 2) Complete a tabelas I com os valores teóricos esperados pela lei de Malus.
- 3) Construa em uma mesma folha de papel milimetrado os gráficos de  $I_{(\text{experimental})} \times \theta$  e  $I_{(\text{teórico})} \times \theta$ . Compare as curvas obtidas e comente possíveis diferenças.
- 4) Um vendedor assegura que um par de óculos escuros tem filtros polaróide (lentes polarizadas), mas você suspeita que são apenas de plástico colorido. Como pode confirmar isso?
- 5) Quando luz não polarizada incide sobre o polarizador, apenas metade da energia é transmitida. O que acontece com a parte não transmitida da energia?
- 6) Além da polarização por absorção existem outros métodos de polarização. Descreva de modo sucinto como é que ocorre na polarização por reflexão e por espalhamento.

### Parte 2 – Experimento com três polarizadores:

Como vimos na parte 1, a intensidade de luz que é transmitida depende do ângulo entre os eixos ópticos do polarizador e do analisador (ângulo entre os dois polarizadores – lei de Malus). Em particular, se eles estiverem perpendiculares (polarizadores cruzados,  $\theta = 90^\circ$ ) a intensidade da luz transmitida é nula.

Vamos considerar dois polarizadores com os eixos cruzados e introduzir um terceiro polarizador entre eles, como mostrado na Fig. 2.

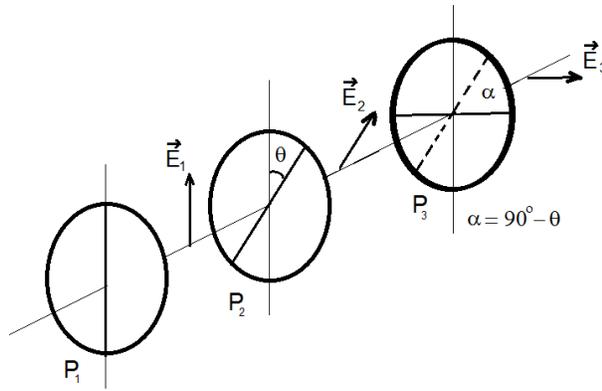


Figura 2. Campo elétrico da luz transmitida por três polarizadores. Os eixos ópticos do Polarizador ( $P_1$ ) e do analisador ( $P_3$ ) são cruzados e do polarizador  $P_2$  forma um ângulo  $\theta$  com relação ao  $P_1$ .

Nesta configuração o campo elétrico da luz transmitida pelo polarizador  $P_2$  é dado pela projeção do campo  $E_1$  ao longo do eixo óptico de  $P_2$ :

$$E_2 = E_1 \cos \theta \quad (2)$$

O campo elétrico da luz transmitida pelo polarizador  $P_3$  é dado pela projeção do campo  $E_2$  ao longo de seu eixo óptico:

$$E_3 = E_2 \cos \alpha = E_2 \cos(90^\circ - \theta) \quad (3)$$

Assim a intensidade da luz transmitida pelo sistema com os três polarizadores será:

$$I \propto E^2$$

$$I = I_{max} (\cos \theta \cos(90^\circ - \theta))^2 = I_{max} (\cos \theta \operatorname{sen} \theta)^2 \quad (4)$$

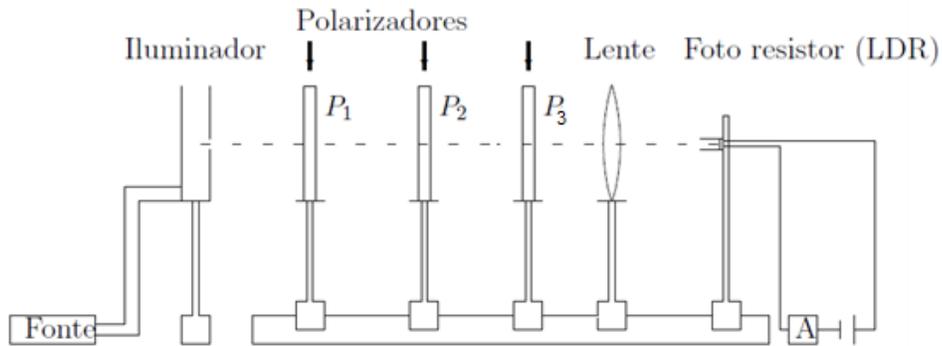


Figura 3. Montagem para o experimento com três polarizadores.

*Procedimento:*

- I. Alinhe os três polarizadores de modo a obter a maior intensidade possível no sensor, mantendo o ângulo no polarizador  $P_2$  como referência ( $\theta_2 = 0$ ). Nesta configuração os três polarizadores estarão com os eixos ópticos alinhados ( $\theta_1 = \theta_2 = \theta_3 = 0$ ).
- II. Ajuste a tensão da fonte de modo que a corrente no amperímetro seja 1, ou seja 100% de transmissão ( $I_{\max} = 1$ )
- III. Gire o polarizador  $P_3$  de  $90^\circ$ , até obter o mínimo na intensidade no sinal do sensor. Nesta configuração os polarizadores  $P_1$  e  $P_2$  estão alinhados e  $P_3$  é perpendicular, de modo que a luz transmitida deveria ser nula, no entanto, como nosso sistema não é ideal teremos um sinal residual ( $I_{\text{res}}$ ) devido à pequena quantidade de luz que atravessa os polarizadores (reais), luz oriunda de outras fontes, etc. Para compensar estes efeitos, vamos subtrair este valor dos valores obtidos no experimento, ou seja,  $I_{\text{experimental}} = I - I_{\text{res}}$ .
- IV. Meça o valor do sinal residual:  $I_{\text{res}} = \underline{\hspace{2cm}}$ .
- V. Meça os valores da Intensidade ( $I$ ) em função do ângulo ( $\theta_2$ ) do polarizador  $P_2$  no intervalo de  $0^\circ$  a  $180^\circ$ , e anote na tabela II

Tabela II. Intensidade relativa para a luz transmitida pelo sistema com três Polarizadores.

| $\theta_2$ (graus) | I (mA) | (I - I <sub>res</sub> )(%) | I <sub>teórica</sub> (%) |
|--------------------|--------|----------------------------|--------------------------|
| 0                  |        |                            |                          |
| 10                 |        |                            |                          |
| 20                 |        |                            |                          |
| 30                 |        |                            |                          |
| 40                 |        |                            |                          |
| 45                 |        |                            |                          |
| 50                 |        |                            |                          |
| 60                 |        |                            |                          |
| 70                 |        |                            |                          |
| 80                 |        |                            |                          |
| 90                 |        |                            |                          |

| $\theta_2$ (graus) | I (mA) | (I - I <sub>res</sub> )(%) | I <sub>teórica</sub> (%) |
|--------------------|--------|----------------------------|--------------------------|
| 100                |        |                            |                          |
| 110                |        |                            |                          |
| 120                |        |                            |                          |
| 130                |        |                            |                          |
| 135                |        |                            |                          |
| 140                |        |                            |                          |
| 150                |        |                            |                          |
| 160                |        |                            |                          |
| 170                |        |                            |                          |
| 180                |        |                            |                          |
|                    |        |                            |                          |

**Discussão dos dados obtidos:**

- 1) Complete a Tabela II com os valores teóricos (I<sub>teórica</sub>).
- 2) Construa em um mesmo gráfico (faça em papel milimetrado) os comportamentos de I<sub>(experimental)</sub> x  $\theta$  e I<sub>(teórico)</sub> x  $\theta$ . Compare as curvas obtidas e comente possíveis as diferenças.

| Nome | RA | Curso/Turma |
|------|----|-------------|
|      |    |             |

## Experimento VII.a – Polarização.

### Atividade complementar para o experimento de Polarização da Luz

*Desenvolvido durante o Estágio de Docência I no Programa de Pós-graduação em Física*

#### Alunos Participantes:

Marcelo Sandrini

Julio César A. Pastoril

Lidiane Vizioli de Castro-Hoshino

Adriane do Nascimento

Camilla Y. Langer Ogawa

#### Introdução:

Polarização é um fenômeno que só ocorre em ondas transversais. A Luz visível, ou qualquer onda eletromagnética, é uma onda transversal, logo é possível ser polarizada.

Na Natureza existem substâncias que ao serem atravessadas pelos feixes de luz deixam passar apenas uma parte da onda luminosa. Desse acontecimento ocorre um fenômeno chamado de polarização da luz. A luz natural que antes se propagava em todos os planos, agora passa a se propagar em um único plano.

#### ***Ondas eletromagnéticas:***

Uma onda eletromagnética é composta basicamente por duas ondas: uma onda elétrica **E** (x, y, z, t), associada à vibração do *campo elétrico* e uma onda magnética **B** (x, y, z, t), associada à vibração do *campo magnético*.

Para uma onda eletromagnética plana, **E** e **B** são perpendiculares entre si e à direção de propagação, figura 1. No entanto, como os detectores de ondas eletromagnéticas, incluindo o olho humano, são sensíveis apenas as vibrações do campo elétrico, definimos a direção da polarização de uma onda eletromagnética, como sendo a direção do vetor campo elétrica (**E**), e não do campo

magnético (**B**). Para uma onda eletromagnética linearmente polarizada, a função de onda  $\mathbf{E}(x, y, z, t)$  é sempre paralela a uma reta fixa do espaço e perpendicular à direção de propagação.

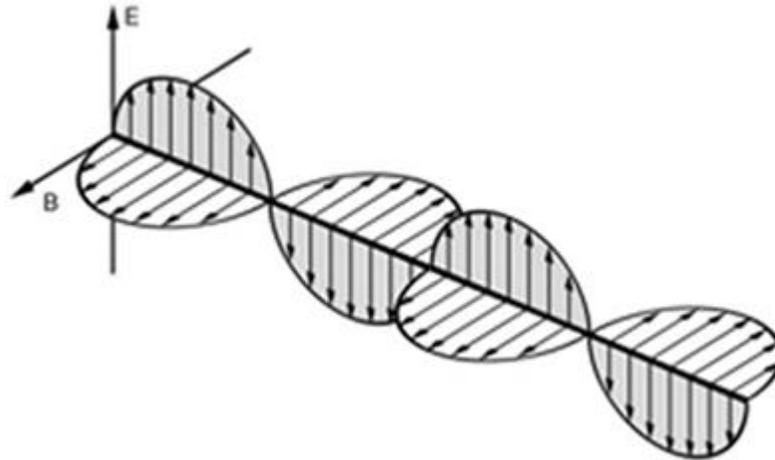


Figura 1: Propagação de uma onda eletromagnética. Fonte [6].

### ***Polarização:***

Com a ajuda de instrumentos óticos conhecidos como polarizadores é possível converter um feixe de luz não polarizado em num feixe de luz com qualquer polarização. Veja o exemplo abaixo, figura 2, para um polarizador do tipo linear.

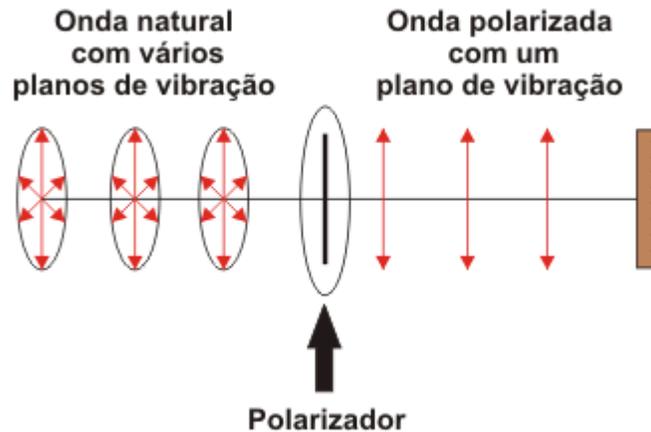


Figura 2. Um feixe de Luz não polarizado passa por um polarizador na qual deixa passar um feixe de luz apenas em um plano. Fonte [3].

Se introduzirmos outro polarizador igual com um ângulo de  $90^\circ$  em relação ao anterior a luz será completamente atenuada, como na figura abaixo.

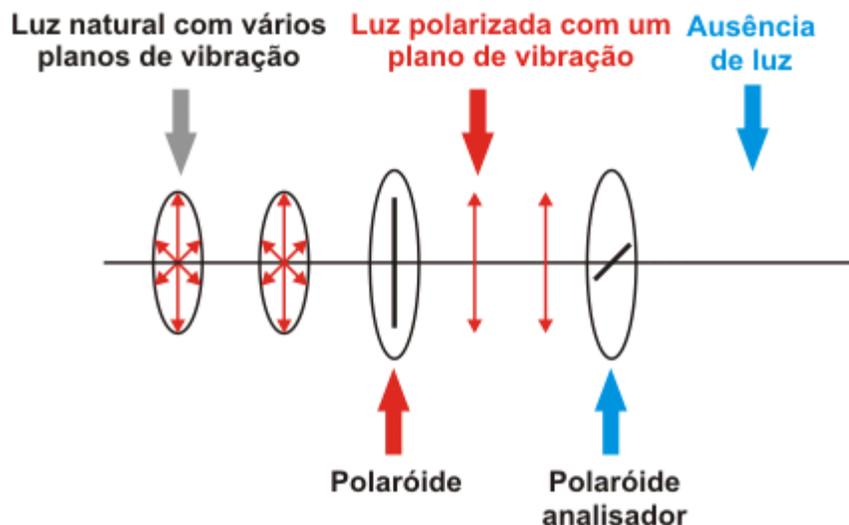


Figura 3: Dois polarizadores postos perpendiculares entre si no qual não deixa passar o feixe de luz. Fonte [3].

A polarimetria é a ciência da medição da polarização da luz. Um feixe de luz polarizada ao passar através de uma molécula sofre quase sempre uma pequenina rotação no respectivo plano devido à interação com as partículas carregadas eletricamente da molécula. Dependendo da molécula pode haver um desvio do plano de rotação da luz polarizada.

### ***Isômeria Óptica:***

A Isômeria Ótica é um estudo do comportamento das substancias quando submetidas a um feixe de luz polarizada. Os isômeros ópticos possuem a mesma fórmula molecular, mas são diferenciados por sua atividade óptica.

Quando um feixe de luz polarizada e monocromático atravessa uma coluna de comprimento  $L$  (em unidade de cm) de uma solução, contendo uma substância opticamente ativa (substância capaz de girar o plano da luz polarizada) de concentração  $C$  (em unidade de g/mL ou g/cm<sup>3</sup>), a rotação do plano de polarização da luz ( $\alpha$ ) é dada por [4] :

$$\alpha = [\alpha]_{\lambda}^t LC$$

sendo  $\alpha$  é o ângulo de rotação e  $[\alpha]_{\lambda}^t$  é uma constante chamada de poder rotatório específico, característico da substância opticamente ativa. Esta constante depende do comprimento de onda  $\lambda$  e da temperatura  $t$ . As vezes  $[\alpha]_{\lambda}^t$  é encontrado na literatura como  $[\alpha]_{D}^{20}$  onde "20" é a temperatura da medição em graus centígrados, "D" é a linha D do espectro de emissão do sódio (598 nm).

Usando essa fórmula é possível calcular a concentração ou a atividade ótica e eventualmente identificar o tipo de isômero.

### ***Levógiro (L) x Dextrógiro (D):***

Moléculas que desviam a luz para a direita são chamadas dextróginas (D); quando o desvio é para a esquerda, as moléculas são chamadas levóginas(L). A importância disso reside no fato de que uma molécula dextrógiro e uma levógiro da mesma substância são imagens especulares uma da outra. Como em bioquímica, a disposição dos átomos é crucial na determinação da atividade biológica, a mesma substância com distinta quiralidade pode não apresentar efeito biológico. Por exemplo: os aminoácidos biologicamente ativos são sempre levógiros (L). Os aminoácidos dextrógiros (D) não têm ação biológica.

O açúcar de cozinha é uma molécula do tipo dextrógiro, sendo seu principal constituinte a molécula de D-sacarose ( $[\alpha] = +65,5$  graus). A seguir temos o teor de sacarose em alguns vegetais: pêssigo (7%); abricó (5,8%); beterraba (6,11%); cenoura (4,2%) melão (5,7%) e cana de açúcar (de 14 a 24%). Um outro tipo de açúcar encontrado nas frutas é a frutose. Os açúcares de um modo geral são substâncias quirais (a molécula tem um átomo de carbono assimétrico ou seja está ligada a 4 grupos diferentes), isto é fazem rodar o plano de polarização da luz polarizada. Como vimos, a rotação específica é uma constante físico-química, que é medida com um polarímetro, sendo importante para caracterização das substâncias quirais.

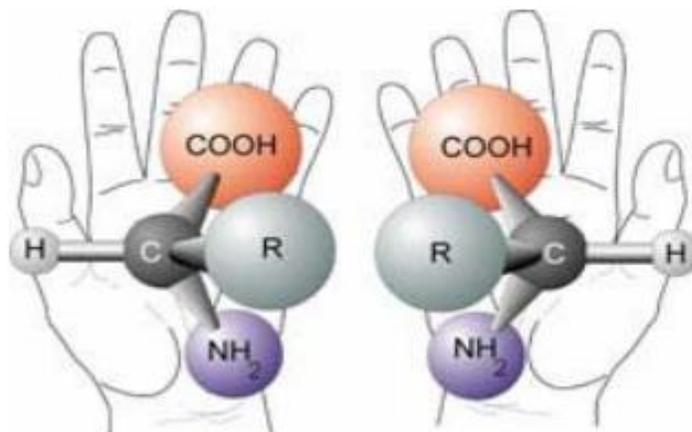


Figura 4. Dois enantiômeros de um aminoácido. Fonte [5].

## **II - PARTE EXPERIMENTAL**

### **II.1 - OBJETIVOS:**

- Estudar o fenômeno da polarização por absorção em filtros polaróides.

- Verificar a propriedade de rotação da polarização por moléculas em uma solução.

## II.2 - MATERIAL UTILIZADO

Fonte de luz, banco ótico, polarizadores, foto resistor ( LDR ), fonte de tensão, amperímetro, cavaleiros, suportes, cabos, laser, cubetas com soluções.

## II.3 – PROCEDIMENTO

- Alinhe o feixe de laser e o foto resistor verticalmente e horizontalmente com relação ao banco ótico.
- Coloque a lente (convergente, distância focal 10cm) como mostrado na figura abaixo.
- Coloque o polarizador. Gire de modo a minimizar a intensidade sob o detector. Anote esse valor na tabela I.
- Em seguida, coloque uma cubeta com solução entre o polarizador e o laser.
- Anote a indicação angular do polarizador e então gire-o de tal forma que se obtenha novamente um mínimo de intensidade. Anote essa nova indicação angular e subtraia daquela anterior. Assim você estará determinando o ângulo de rotação da polarização da luz introduzido pela cubeta. Indique também a direção de rotação da polarização (direita ou esquerda) com relação ao vetor de propagação.
- Repita o procedimento para diferentes solução. Para cada solução diferente é necessário alinhar novamente o foto resistor. A lente e o polarizador devem permanecer na mesma posição.

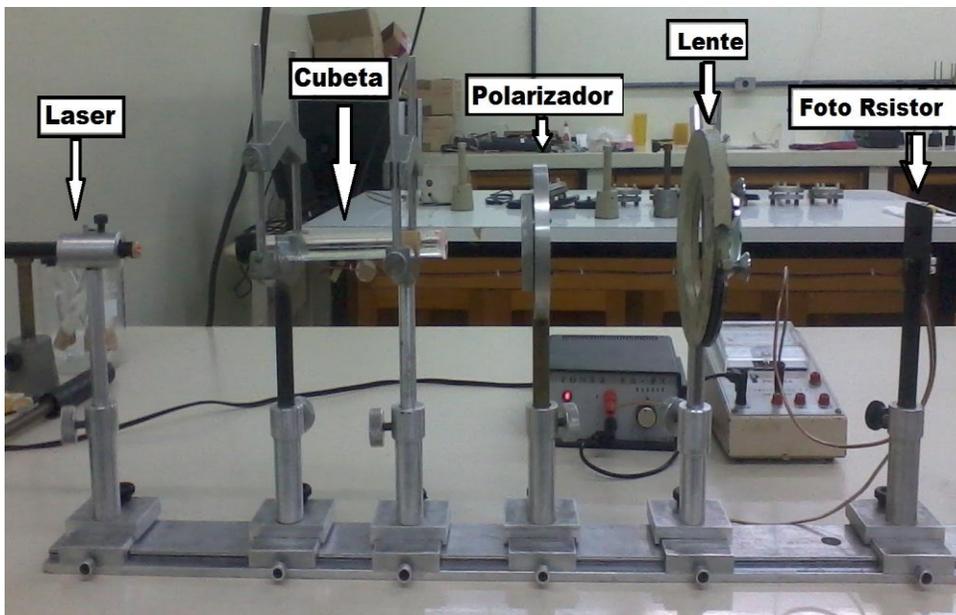


Figura 5. Montagem experimental.

Tabela I.

| Concentração em volume<br>da solução (g / ml) | $\phi_{min}$ | $\phi_{sem\ cubeta}$ | $\Delta\phi$ |
|---|--------------|----------------------|--------------|
| 7,5   |              |                      |              |
| 15  |              |                      |              |
| 30  |              |                      |              |
| 40  |              |                      |              |
| 50  |              |                      |              |
| x   |              |                      |              |

### III. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- [1] [http://www1.univap.br/spilling/FQE2/FQE2\\_EXP12\\_Polarimetria.pdf](http://www1.univap.br/spilling/FQE2/FQE2_EXP12_Polarimetria.pdf). Acesso em 18/10/2013.
- [2] [http://disciplinas.stoa.usp.br/pluginfile.php/88573/mod\\_resource/content/1/Apostila4.pdf](http://disciplinas.stoa.usp.br/pluginfile.php/88573/mod_resource/content/1/Apostila4.pdf). Acesso em 18/10/2013.
- [3] <http://www.alfaconnection.pro.br/fisica/ondas/interferencia-difracao-e-polarizacao/polarizacao/>. Acesso em 07/11/2017.
- [4] Luiz Cláudio de Almeida Barbosa, Introdução à Química Orgânica. Ed. UPV, 2004, pp.360.
- [5] David L. Nelson e Michael M. Cox, Princípios de Bioquímica de Lehninger. Ed. Artmed, 2010, pp. 1273.
- [6] <http://mundoeducacao.bol.uol.com.br/fisica/caracteristicas-das-ondas-eletromagneticas.htm>. Acessado em 07/11/2017.



**Anote aqui as posições dos mínimos de difração (Fenda Simples)**

Não altere a distância  $D$  durante todo o procedimento experimental

Indique quais são os mínimos por  $m = \pm 1, \pm 2, \pm 3...$

**$a_1 = 0,16$  mm**

**$a_2 = 0,08$  mm**

**$a_3 = 0,04$  mm**

**$a_4 = 0,02$  mm**



**Anote aqui as posições dos mínimos de interferência (Fenda Dupla)**

Não altere a distância  $D$  durante todo o procedimento experimental

Indique o  $\Delta x$  utilizado (lembre-se que esta região **deve** estar dentro do máximo central de difração)

**$a = 0,04\text{mm}$**

**$L_1 = 0,25\text{mm}$**

**$a = 0,04\text{mm}$**

**$L_2 = 0,50\text{mm}$**

**$a = 0,08\text{mm}$**

**$L_1 = 0,25\text{mm}$**

**$a = 0,08\text{mm}$**

**$L_2 = 0,50\text{mm}$**

### Discussão dos resultados obtidos:

- 1) Com os resultados obtidos para o experimento da fenda simples para a fenda de largura  $a_1 = 0,16$  mm, calcule o valor do comprimento de onda  $\lambda$  do laser utilizado no experimento para cada valor de  $m$  obtido, e calcule também o valor médio  $\bar{\lambda}$  e encontre o desvio padrão. Compare o  $\bar{\lambda}$  calculado com o valor nominal do comprimento de onda do laser  $\lambda_n = 650$  nm.
- 2) Com os resultados obtidos para o experimento da fenda simples para  $m = 1$  construa um gráfico de  $\Delta y_m$  em função de  $a^{-1}$ , e a **partir deste gráfico** obtenha o valor para o do comprimento de onda  $\lambda$  e compare com o valor obtido na questão 1.
- 3) Referente à difração por fio de cabelo, e utilizando o valor do comprimento de onda nominal do laser de 650 nm, encontre o diâmetro do fio de cabelo com o auxílio da equação 1.
- 4) Com os resultados obtidos para o experimento da fenda dupla **compare e discuta** sobre os valores obtidos de  $\Delta S$ :
  - a) entre as fendas de larguras diferentes e os espaçamentos entre elas iguais.
  - b) para cada fenda ( $a = 0,04$  mm e  $a = 0,08$  mm) com espaçamentos diferentes.
- 5) Os resultados obtidos na questão 4 é compatível com o previsto pela equação (2)? **Justifique sua resposta.**
- 6) A partir dos dados obtidos para o experimento de fenda dupla obtenha o comprimento de onda  $\lambda$  do laser e calcule seu o valor médio  $\bar{\lambda}$  e encontre o desvio padrão.
- 7) Qual a diferença entre as figuras de difração e interferência, observadas respectivamente para os experimentos de fenda simples e dupla?