2 – Espelhos e Lentes Esféricos

Nesta prática, vamos continuar a explorar a ótica geométrica, estudando os espelhos e lentes esféricos, que são utilizados na formação de imagens óticas.

Sempre que surgir uma dúvida quanto à utilização de um instrumento, o aluno deverá consultar o professor, o monitor ou o técnico do laboratório para esclarecimentos.

Importante: Neste experimento será utilizado um laser. Cuidado para não direcioná-lo para seu olho ou para o olho dos demais em sala!!!

I. Espelhos côncavos e convexos

Os espelhos esféricos podem ser de dois tipos: côncavos ou convexos. No espelho côncavo, a superfície refletora é a parte interna de uma esfera, enquanto no espelho convexo é a parte externa. Todo espelho esférico é caracterizado pelo raio de curvatura, pelo centro de curvatura e pelo vértice (que é um ponto no próprio espelho). O eixo óptico liga o centro de curvatura ao vértice.

Todo raio de luz paralelo ao eixo óptico reflete passando por um ponto sobre o eixo óptico, entre o centro de curvatura e o vértice, chamado de foco, desde que a distância entre o raio e o eixo óptico não for muito grande comparada com o raio de curvatura. Essa aproximação é chamada de *aproximação paraxial*. Fora da aproximação paraxial, os raios paralelos ao eixo óptico não se cruzam todos no mesmo ponto, gerando a aberração esférica, que é tanto pior quanto maior a distância entre o raio e o eixo óptico. Por isso, temos que limitar a abertura do espelho a não mais do que cerca de 10º (essa é a chamada condição de nitidez de Gauss).

II. Distância focal de um espelho esférico

A localização do foco é muito importante para a óptica, mais do que a localização do centro de curvatura. Vamos então deduzi-la para um espelho esférico. A figura 1 mostra dois raios (AB e A'B') paralelos ao eixo óptico. O centro de curvatura é C, o vértice é O, e o foco é o ponto F. Os ângulos ABC e OCB são alternos internos, portanto iguais. O segmento BC é normal ao espelho, e portanto decorre das leis de reflexão que os ângulos ABC e CBF também são iguais. Logo, o triângulo CBF é isóscele, e os segmentos FC e FB têm o mesmo comprimento. Aplicamos então a lei dos cossenos nesse triângulo:

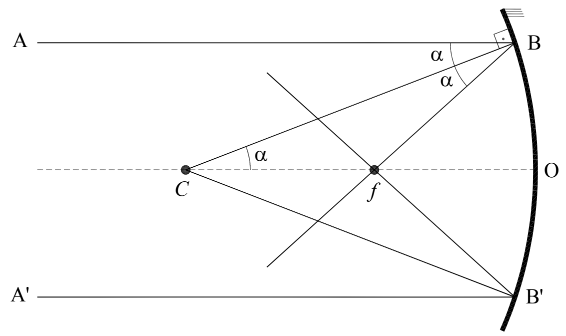

Figura 1 – Dois raios paralelos ao eixo óptico se encontrando no foco de um espelho esférico.

$$2(FC)^2(1+\cos 2\alpha) = (CB)^2 \tag{1}$$

Vemos claramente dessa expressão que a posição do foco depende de α, que depende da distância do raio ao eixo óptico, o que gera a aberração esférica Na aproximação paraxial, o ângulo α é pequeno, então fazemos $\cos(2\alpha) \approx 1$ para chegar a:

$$2(FC) = CB \tag{2}$$

Mas CB é simplesmente o raio R de curvatura. A distância focal f é igual a OF (distância entre o espelho e o foco). Logo:

$$f = \frac{R}{2} \tag{3}$$

O foco é o ponto médio entre o centro de curvatura e o vértice.

III. Determinação da imagem formada por um espelho esférico (método geométrico)

Para determinar a posição da imagem formada por um espelho plano, um método é desenhar alguns raios de luz que saem desse objeto e verificar como esses raios são refletidos e onde eles voltam a se encontrar. Fazer isso com um raio em uma direção arbitrária não é prático, mas existem alguns raios que são simples de saber como serão refletidos:

- O raio que incide no espelho descrevendo uma trajetória paralela ao eixo óptico é refletido de forma a passar pelo foco. Isso foi provado na seção anterior (dentro da aproximação paraxial).
- O raio focal, que incide no espelho passando pelo foco, é refletido paralelamente ao eixo óptico. Essa situação é oposta à primeira, e deriva do principio da reversibilidade dos raios de luz.
- O raio central, que incide no espelho passando pelo centro de curvatura, é refletido sobre si mesmo. Isso ocorre porque qualquer reta passando pelo centro de curvatura é normal ao espelho.
- O raio que incide sobre o vértice do espelho é refletido de forma tal que o ângulo de reflexão seja igual ao ângulo de incidência (como em um espelho plano).

Com essas regras, podemos determinar a imagem de qualquer ponto traçando quaisquer dois desses raios. Algumas vezes, no entanto, os raios em si não se encontram, mas apenas o prolongamento deles para a região atrás do espelho. Quando isso ocorre, a imagem é dita *virtual*. Caso contrário, a imagem é *real*.

IV. Determinação da imagem formada por um espelho esférico (método algébrico)

Existe também uma maneira algébrica, isto é, através de equações, para descobrir a posição e a imagem formada por um espelho esférico. Vamos inicialmente considerar o caso mostrado na figura 2, de um objeto colocado antes do centro de curvatura de um espelho côncavo.

A distância AO do objeto ao espelho será simbolizada por s, a distância A'O da imagem ao espelho por s', e a distância FO entre o foco e o espelho por f. O tamanho AB do objeto será simbolizado por o, e o da imagem A'B' por o'. No entanto, como a imagem nesse caso é invertida, vamos considerar o' negativo.

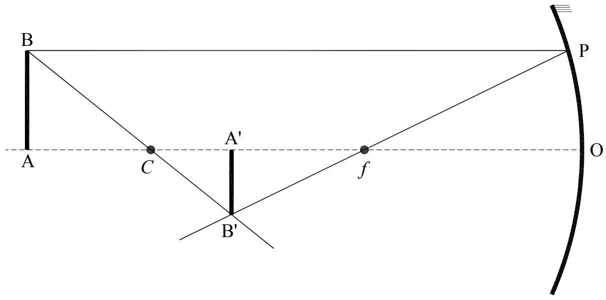

Figura 2 – Objeto AB colocado a frente de um espelho côncavo de vértice O, centro C e foco F, formando a imagem A'B'.

Na aproximação paraxial, podemos considerar que O e P estão na vertical, desprezando o efeito da curvatura do espelho no deslocamento de P ao longo do eixo ótico. Então vemos que há dois pares de triângulos congruentes: ΔBPB' ~ ΔCFB' e ΔFA'B' ~ ΔFOP. Da congruência de cada um, obtemos as seguintes relações:

$$\frac{s}{o-o'}=\frac{f}{-o'} \tag{4a}$$

$$\frac{-o'}{s-f}=\frac{o}{f} \tag{4b}$$

Essas duas equações agora podem ser resolvidas para *s'* em termos de *s* e *f*, eliminando *o* e *o'*. O resultado é:

$$\frac{1}{s'}=\frac{1}{f}-\frac{1}{s} \tag{5}$$

Essa expressão é normalmente escrita na seguinte forma:

$$\frac{1}{f}=\frac{1}{s}+\frac{1}{s'} \tag{6}$$

Com esse resultado, podemos voltar na equação 4b e calcular o tamanho da imagem:

$$M = \frac{o'}{o} = -\frac{s'}{s} \qquad (7)$$

onde M é a chamada magnificação (ou ampliação) da imagem.

As equações 6 e 7 permitem calcular a posição e o tamanho da imagem formada. Para utilizá-las, é necessário seguir a seguinte convenção de sinais:

- A distância s de um objeto real ao espelho é sempre positiva.
- A distância s' entre a imagem e o espelho é positiva se a imagem é real (isto é, quando fica do mesmo lado do espelho que o objeto) ou negativa se a imagem é virtual (isto é, quando fica do lado oposto do espelho).
- A distância focal f e o raio de curvatura R são positivos para espelhos côncavos e negativos para espelhos convexos.
- O tamanho o do objeto é sempre positivo.
- O tamanho o' da imagem é positivo se a imagem é direita (isto é, quando fica no mesmo sentido do objeto) ou negativa se a imagem é invertida (isto é, quando fica no sentido oposto ao do objeto).

Podemos sumarizar essa convenção na seguinte tabela:

Tabela 1 – Convenção de sinais para espelhos esféricos.

Parâmetro	**Sinal positivo**	**Sinal negativo**
Raio (R) e foco (f)	Espelho côncavo	**Espelho convexo**
Distância do objeto (s)	Objeto real	–
Distância da imagem (s')	Imagem real	**Imagem virtual**
Tamanho do objeto (o)	Objeto	–
Tamanho da imagem (o')	**Imagem direita**	**Imagem invertida**

V. Tipos de imagens formadas

Agora que sabemos como formar imagens, vamos estudar as imagens que são formadas em alguns casos.

Para espelhos côncavos, há 5 casos a considerar quanto à posição do objeto:

a) Objeto entre o espelho e o foco ($s < f$). Nesse caso, $s' < 0$ e $o' > o > 0$. A imagem é virtual, direita e ampliada.

b) Objeto sobre o foco ($s = f$). Nesse caso, s' vai a infinito. Todos os raios são refletidos paralelamente e não há formação de imagem.

c) Objeto entre o foco e o centro de curvatura ($f < s < 2f$). Nesse caso, $s' > 0$ e $o' < 0$, com $|o'| > o$. A imagem é real, invertida e ampliada.

d) Objeto sobre o centro de curvatura ($s = 2f$). Nesse caso, $s' > 0$ e $o' < 0$, com $|o'| = o$. A imagem é real, invertida e do mesmo tamanho do objeto.

e) Objeto após o centro de curvatura ($s > 2f$). Nesse caso, $s' > 0$ e $o' < 0$, com $|o'| < o$. A imagem é real, invertida e reduzida.

Com espelhos convexos, a imagem será sempre virtual, direita e reduzida.

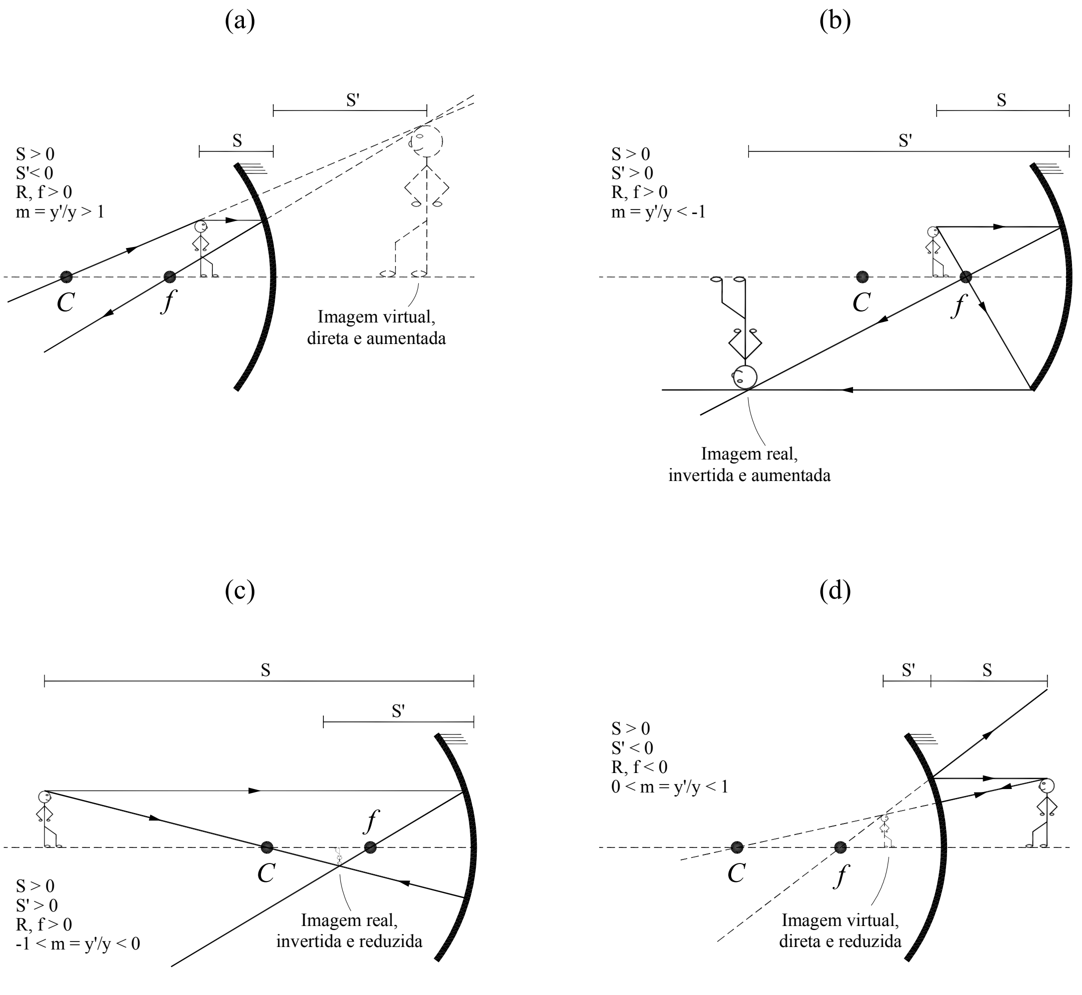

Figura 3 – Imagens formadas por espelhos. (a) Espelho côncavo com objeto localizado entre o foco e o vértice do espelho; (b) Espelho côncavo com objeto localizado entre o centro de curvatura e o foco do espelho; (c) Espelho côncavo com objeto localizado fora do centro de curvatura do espelho; (d) espelho convexo.

VI. Lentes esféricas convergentes e divergentes

Uma lente esférica é composta por um material com índice de refração diferente do meio que o circunda delimitado por duas superfícies esféricas (ou planas, em alguns casos). Vamos nos restringir ao caso de lentes delgadas (cuja espessura é muito menor do que a distância focal). Devido à diferença de curvatura entre as faces, o raio de luz sofre um desvio. Um feixe de luz paralelo, ao atingir a lente, se transforma em um feixe cônico, que pode ser convergente ou divergente. No primeiro caso, diz-se que a lente é convergente, e no segundo caso diz-se que é divergente. A distância entre a lente e o vértice do cone é chamada de distância focal.

VII. Distância focal de uma lente (equação dos fabricantes de lentes)

Quando estudamos espelhos, relacionamos a distância focal às propriedades geométricas (raio de curvatura). Faremos o mesmo para as lentes esféricas delgadas. Assim como no caso do espelho, nos limitaremos a raios paraxiais (próximos ao eixo óptico).

A figura 4 mostra uma lente delgada com duas faces convexas (em relação ao meio externo). A espessura da lente está exagerada para facilitar a compreensão do desenho. Os centros de curvatura são C_1 e C_2, para a primeira e a segunda face, respectivamente. Um raio que incide paralelamente ao eixo óptico (a uma distância *h* deste) cruza esse eixo no foco (ponto F); a distância focal é a distância VF, onde V é o vértice da lente.

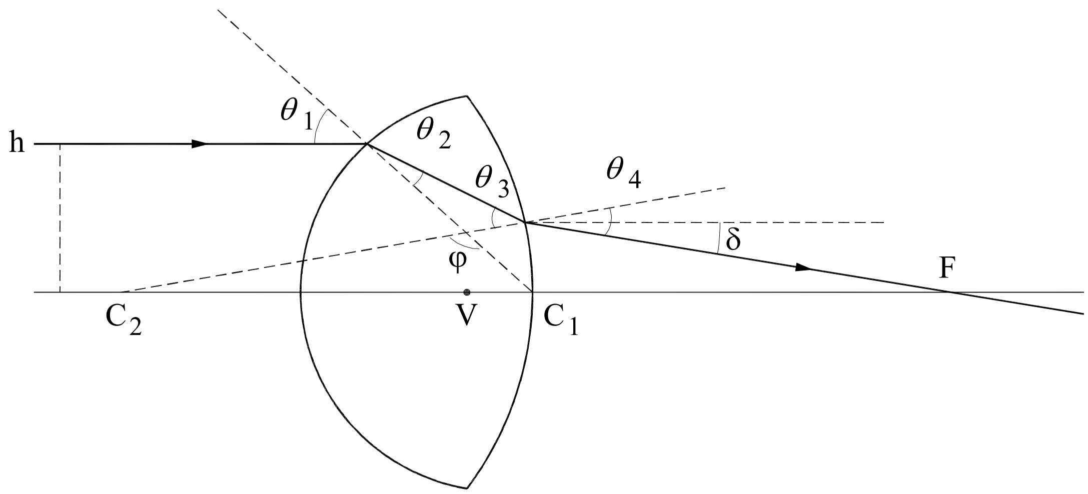

Figura 4 – Dedução da equação dos fabricantes

O ângulo de incidência na primeira face é dado por:

$$\theta_1 \approx \sin\theta_1 = \frac{h}{R_1} \tag{8}$$

A aproximação é possível porque estamos considerando que a distância *h* do raio ao eixo óptico é suficientemente pequena em comparação com o raio de curvatura. Pela lei de Snell:

$$\theta_2 \approx \sin\theta_2 = \frac{1}{n}\sin\theta_1 \approx \frac{1}{n}\theta_1 \tag{9}$$

Para calcular θ_3, observamos que os ângulos θ_2, θ_3 e o ângulo formado pelo encontro das normais às duas faces (φ) formam um triângulo, e as normais também formam um triangulo junto com o eixo óptico. Portanto:

$$\theta_3 = \pi - \theta_2 - \varphi \tag{10a}$$

$$\varphi = \pi - \frac{h}{R_1} - \frac{h}{R_2} \tag{10b}$$

Combinando essas equações, obtemos θ_3:

$$\theta_3 = h\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right) - \frac{1}{n}\frac{h}{R_1} \tag{11}$$

A lei de Snell aplicada a segunda refração fornece:

$$\theta_4 \approx \sin\theta_4 = n\sin\theta_3 \approx n\theta_3 \tag{12}$$

Na figura, vemos que o desvio total sofrido pelo feixe é igual a θ_4 menos o ângulo formado pela normal à segunda face e o eixo óptico:

$$\delta = \theta_4 - \frac{h}{R_2} = nh\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right) - \frac{h}{R_1} - \frac{h}{R_2} = (n-1)h\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right) \quad (13)$$

O raio refletido faz um ângulo δ com o eixo óptico e sai da lente a uma distância h deste (desprezamos a variação ocorrida dentro da lente, devido à hipótese de que ela é delgada), e cruzará o eixo óptico a uma distancia f da lente tal que:

$$\delta \approx \tan\delta = \frac{h}{f} \quad (14)$$

Podemos agora combinar as equações 13 e 14 para chegar a:

$$\frac{1}{f} = (n-1)\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right) \quad (15)$$

A equação 15 é conhecida como equação dos fabricantes de lentes, porque permite calcular a distância focal em função dos parâmetros geométricos e do material, e assim poder projetar lentes para ter a distância focal desejada.

Nossa dedução foi feita para duas faces convexas, mas o mesmo argumento também pode ser aplicado para faces côncavas ou planas. No primeiro caso, o raio deve ser considerado negativo, e no segundo caso deve ser considerado infinito.

VIII. Determinação da imagem formada por uma lente esférica (método geométrico)

Para determinar a imagem formada por uma lente, precisamos traçar os raios de luz que saem de um ponto e verificar onde eles se encontrarão. Existem alguns raios que são fáceis de saber como serão refratados:

- O raio que incide na lente descrevendo uma trajetória paralela ao eixo ótico é refletido de forma a passar pelo foco.
- O raio focal, que incide na lente passando pelo foco, é refletido paralelamente ao eixo ótico. Essa situação é oposta à primeira, e deriva do principio da reversibilidade dos raios de luz.
- O raio que incide sobre o vértice da lente a atravessa sem sofrer desvio.

A imagem de cada ponto é formada no ponto de encontro de quaisquer dois desses raios. A imagem pode ser real (quando os raios realmente se cruzam) ou virtual (quando apenas os prolongamentos dos raios se cruzam).

As figuras a seguir mostram o método aplicado a uma lente convergente e outra divergente. No primeiro caso, a imagem é real, e no segundo caso a imagem é virtual.

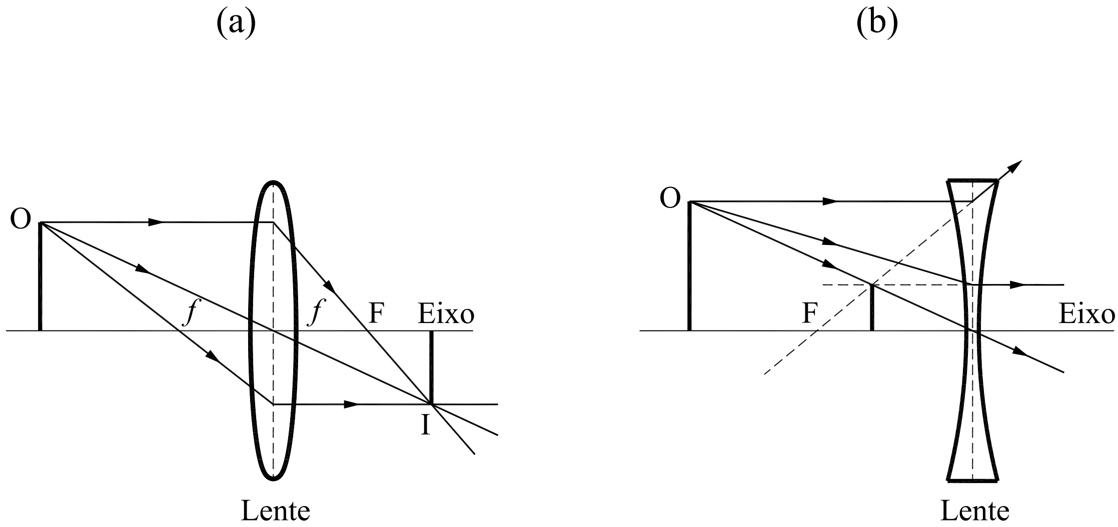

Figura 5 – Formação de imagem em lentes. (a) Lente convergente. (b) Lente divergente

IX. Determinação da imagem formada por uma lente esférica (método algébrico)

Quando estudamos os espelhos esféricos, vimos que há duas equações que determinam a posição e o tamanho da imagem formada pelo espelho:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'} \tag{16a}$$

$$M = \frac{o'}{o} = -\frac{s'}{s} \tag{16b}$$

Essas mesmas equações também podem ser usadas no caso de lentes, mas algumas modificações devem ser feitas. No caso de espelhos, o objeto e a imagem (real) se situam do mesmo lado do espelho, e os eixos *s* e *s'* são no mesmo sentido. No caso de lentes, o objeto e a imagem (real) ficam em lados opostos da lente, e portanto os eixos *s* e *s'* devem ser medidos em direções opostas. A convenção de sinais é:

Tabela 2: Convenção de sinais para lentes esféricas.

Parâmetro	Sinal positivo	Sinal negativo
Foco (*f*)	Lente convergente	Lente divergente
Distância do objeto (*s*)	Objeto real	–
Distância da imagem (*s'*)	Imagem real (no lado oposto ao do objeto)	Imagem virtual (no mesmo lado do objeto)
Tamanho do objeto (*o*)	Objeto	–
Tamanho da imagem (*o'*)	Imagem direita	Imagem invertida

X. Tipos de imagens formadas

Assim como no caso do espelho côncavo, a lente convergente também pode formar diferentes tipos de imagem conforme a posição do objeto.

f) Objeto entre a lente e o foco ($s < f$). Nesse caso, $s' < 0$ e $o' > o > 0$. A imagem é virtual, direita e ampliada.

g) Objeto sobre o foco ($s = f$). Nesse caso, s' vai a infinito. Todos os raios são refratados paralelamente e não há formação de imagem.

h) Objeto após o foco ($s > f$). Nesse caso, $s' > 0$ e $o' < 0$. A imagem é real e invertida. Será ampliada se $f < s < 2f$ e reduzida se $s > 2f$.

Com lentes divergentes, a imagem será sempre virtual, direita e reduzida, da mesma forma que ocorre com espelhos convexos.

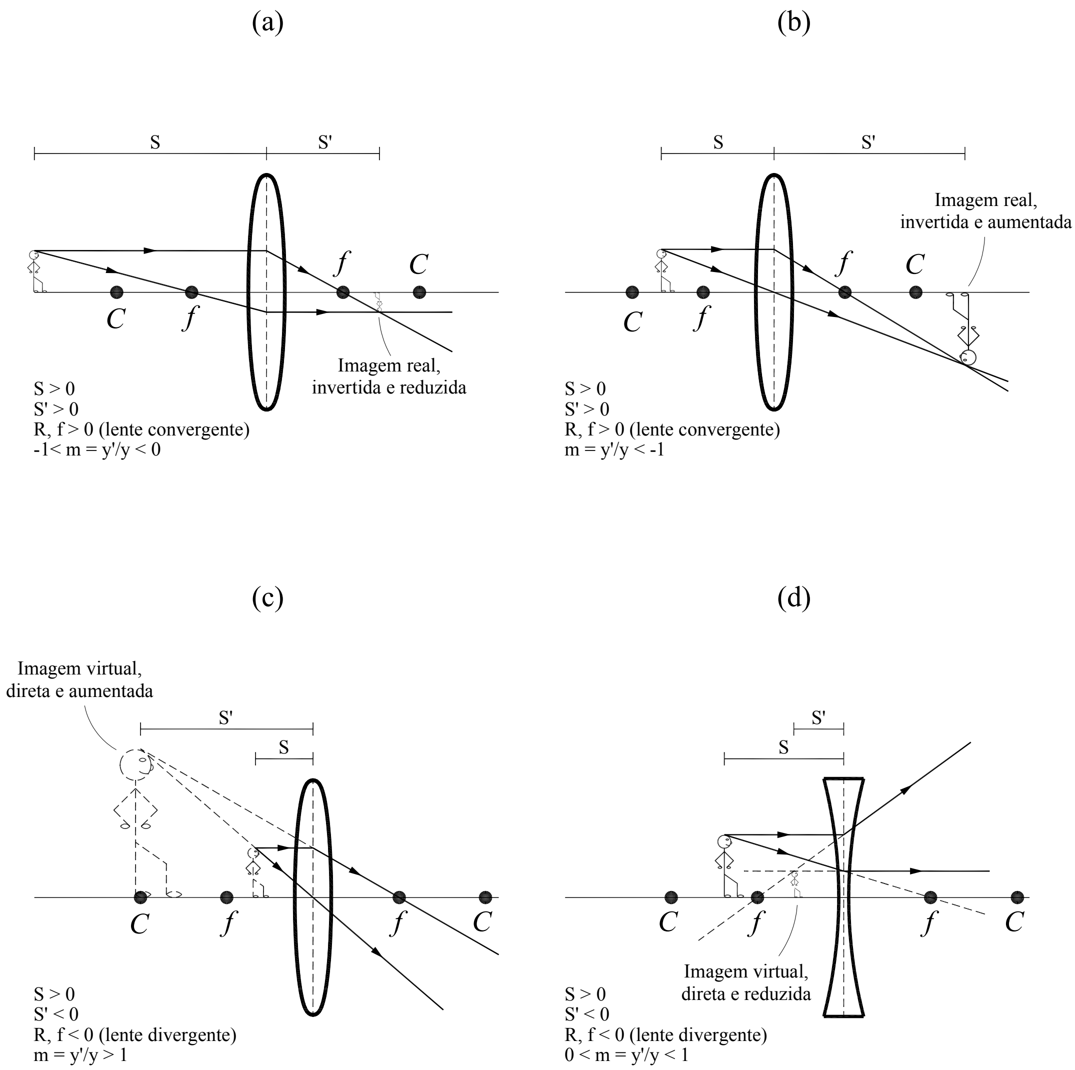

Figura 6 – Imagens formadas por lentes delgadas. Objeto localizado (a) antes do centro de curvatura de uma lente convergente; (b) entre o foco e o centro de curvatura; (c) entre o foco e o vértice de uma lente convergente; (d) Entre o foco e o centro de curvatura de uma lente divergente.

Experimentos

1. Medida do raio de curvatura e da distância focal de um espelho côncavo

Neste experimento, vamos determinar o raio de curvatura e, por conseguinte, a distância focal de um espelho côncavo.

a) Antes de realizar os experimentos é crucial que o feixe de luz laser esteja alinhado com relação ao trilho óptico. Para fazer o alinhamento, você deve utilizar os pinos disponíveis em sua bancada (arame metálico fino solidário a um poste de sustentação). Coloque um pino no centro de articulação do trilho óptico. Mova o laser lateralmente (utilize o parafuso de ajuste do cavalete de sustentação do laser) até que o feixe intercepte o pino. Coloque um segundo pino de pesquisa em um cavalete e posicione-o entre o laser e o centro de articulação do trilho. Desloque o pino lateralmente até que o feixe de luz laser o intercepte. Deslize o pino ao longo do trilho óptico e verifique se o feixe continua a interceptá-lo (independentemente de sua posição). Se isso ocorrer o feixe está alinhado com o trilho, senão você deverá mover o laser lateralmente ou girá-lo em torno do seu poste de sustentação até que o alinhamento seja conseguido. *Atenção: Uma vez que o feixe esteja alinhado, não mexa mais no laser (ou em seu suporte) durante todos os experimentos. Caso ocorra o desalinhamento do feixe durante o experimento, você deverá realizar todo o procedimento de alinhamento novamente.*

b) Nos experimentos a seguir também necessitaremos de dois feixes luminosos paralelos entre si, que serão usados para estudar os desvios em suas trajetórias provocados pelas superfícies refletoras. Para obter esses dois feixes a partir de uma única fonte de luz laser, utilizaremos o dispositivo mostrado na figura 7. O mesmo é constituído por um semi-espelho (50% de reflexão) que produz dois feixes a partir da reflexão e transmissão do feixe incidente, figura 7. Após a divisão do feixe do laser pelo semi-espelho, a parte refletida do feixe incide em um espelho plano (100 % de reflexão) cuja função é redirecioná-lo de modo que fique paralelo ao feixe transmitido através do semi-espelho, figura 7.

c) Coloque o conjunto espelho e semi-espelho (planos) em um cavalete com ajuste lateral, figura 7, e posicione-o no trilho de modo que o feixe de luz laser atravesse o semi-espelho. Certifique-se que após passar pelo semi-espelho o feixe transmitido continua alinhado com o trilho óptico. Alinhe o espelho 100% de modo que o feixe lateral (refletido pelo semi-espelho) siga uma trajetória paralela na mesma altura que o feixe de referência (transmitido pelo semi-espelho). Use uma separação entre os dois feixes entre 1 e 2 cm.

d) Coloque o espelho côncavo em um suporte óptico que possui parafusos micrométricos que permitem ajustar a sua orientação. Posicione o conjunto no trilho óptico de modo que o feixe de referência (feixe transmitido pelo semi-espelho) incida aproximadamente no centro do mesmo. Para obter essa situação, você pode mover lateralmente e verticalmente o espelho côncavo. Utilizando os parafusos micrométricos do suporte, ajuste o espelho de modo que o feixe de referência (feixe transmitido) reflita sobre si mesmo (retro-reflexão).

e) Em sua bancada existe um suporte onde se encontra fixa uma pequena régua transparente. Coloque-o em um cavalete e posicione-o entre o divisor de feixe e o espelho, figura 7. Translade o conjunto ao longo do trilho e observe a posição em que o feixe de referência (feixe transmitido pelo semi-espelho) coincide espacialmente com o feixe lateral (feixe refletido pelo semi-espelho). Esse ponto é o ponto focal, e a distância entre esse ponto e o espelho é a distância focal.

Resultados da medida da distância focal de um espelho côncavo

Distância focal	Raio de curvatura

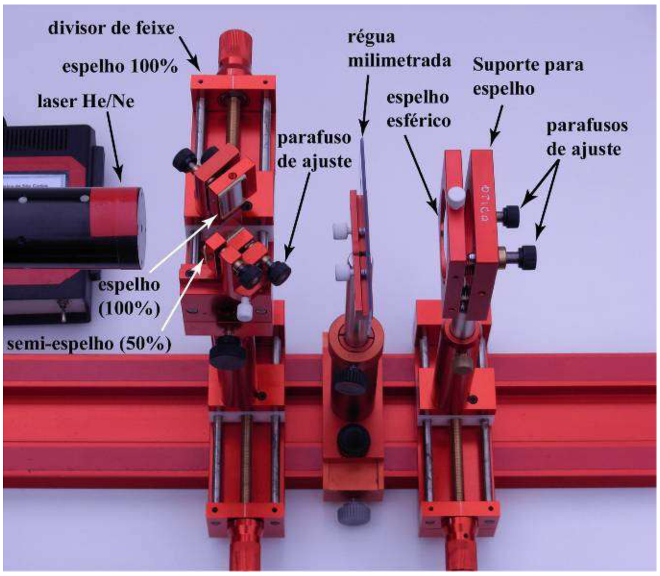

Figura 7 – Montagem do experimento para determinação do raio de curvatura de um espelho esférico. Da esquerda para a direita: laser, divisor de feixe, régua milimetrada e suporte com espelho.

2. Medida da distância focal de uma lente convergente

Neste experimento, vamos determinar a distância focal de uma lente convergente. Utilizaremos a mesma montagem anterior, apenas substituindo o espelho por uma lente convergente.

a) Coloque uma lente convergente no suporte óptico que possui parafusos micrométricos que permitem ajustar a sua orientação. Posicione o conjunto no trilho óptico de modo que o feixe de referência (feixe transmitido pelo semi-espelho) incida *aproximadamente* no centro da lente (vértice da mesma). Para obter essa situação, você pode mover lateralmente e verticalmente o suporte da lente. Utilizando os parafusos micrométricos do suporte, ajuste a lente de modo que o feixe de referência reflita sobre si mesmo (retro-reflexão).

f) Como os feixes agora são transmitidos pela lente, coloque o cavalete com a régua transparente atrás da lente, conforme mostrado na figura 8. Translade a régua ao longo do trilho e observe a posição em que o feixe de referência (feixe transmitido pelo semi-espelho) coincide espacialmente com o feixe lateral (feixe refletido pelo semi-espelho). Esse ponto é o ponto focal, e a distância entre esse ponto e o centro da lente é a distância focal. Meça esse valor.

Resultado da medida da distância focal de uma lente convergente

Distância focal =

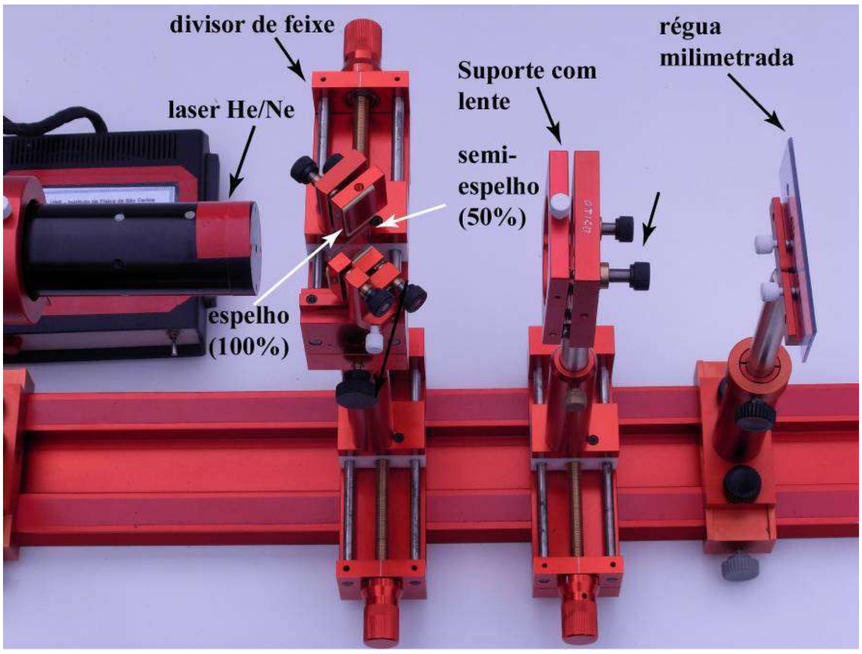

Figura 8 – Fotografia da montagem experimental, mostrando, da esquerda para a direita, o laser, o divisor de feixes, o suporte com a lente e a régua transparente.

3. Medida da distância focal de uma lente divergente

O método anterior não pode ser utilizado para lentes divergentes, já que não há convergência de raios reais. No entanto, podemos determinar a distância focal de uma lente divergente utilizando medidas dos raios de curvatura das superfícies esféricas da lente e a equação dos fabricantes de lentes (eq. 15), se o índice de refração do material da lente for conhecido. Vamos então usar a mesma montagem do experimento 1 para determinar o raio de curvatura de cada superfície da lente divergente bicôncava, utilizando a pequena *reflexão* na superfície frontal da lente, como se ela fosse um espelho côncavo.

a) Bloqueie o feixe lateral. Posicione lateralmente a lente (horizontal e verticalmente) para que as duas reflexões do feixe incidente (de referência) em cada face da lente estejam superpostas. Ajuste o ângulo da lente para que essas duas reflexões voltem na direção do feixe incidente. Assim você garante que o feixe de referência passa pelo vértice da lente.

b) Meça f_1 da superfície 1, conforme o experimento 1. Sem mexer no suporte, remova a lente com cuidado, vire-a ao contrário e fixe-a novamente ao suporte. Verifique o alinhamento dos feixes refletidos e meça f_2 da superfície 2. Utilize a eq. 15 para calcular a distância focal da lente divergente.

4. Observação da formação de imagens geradas por lentes convergentes

Nesse experimento vamos observar as imagens extensas formadas por uma lente convergente usando luz branca.

a) Utilizando uma fenda iluminada por uma lanterna e um anteparo de papel, faça a montagem mostrada na figura 9. Posicione os componentes de modo que a distância s do objeto (fenda iluminada) à lente seja entre 20 e 30 cm (situação 1). Mova o anteparo até obter a imagem mais nítida possível.

b) Descreva as características da imagem quanto ao tamanho, natureza e orientação. Meça os valores de s, s', o e o'. Determine a magnificação e use a eq. 16a para calcular f. Compare com o valor obtido no experimento 2, calculando o erro%.

c) Repita o item b) para a situação 2, usando s > 30 cm.

d) Ainda neste caso, confirme experimentalmente que se *s* é maior que *f*, a imagem real será invertida. Caso contrário (*s* menor que *f*), o objeto e sua imagem virtual direta serão formados do mesmo lado da lente (como mostrado na figura 6c). É possível determinar a posição da imagem utilizando este método de projeção? Discuta em seu relatório.

e) Peça ao professor, monitor ou técnico de laboratório para discutir e demonstrar um método para determinação de imagens virtuais sem a utilização do laser, conhecido como método de paralaxe.

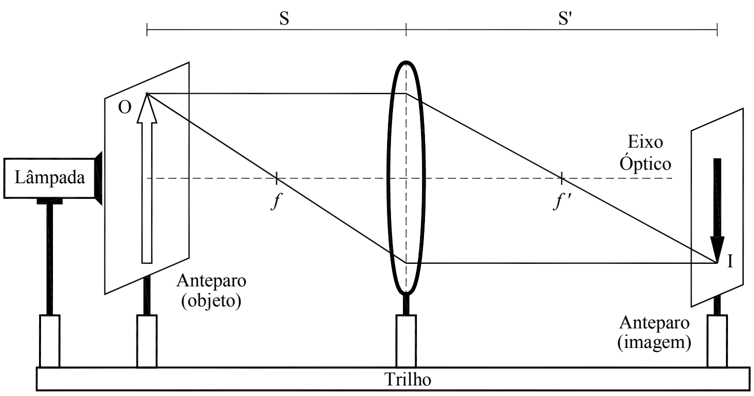

Figura 9 – Montagem experimental para experimentos envolvendo formação de imagens por lentes convergentes.

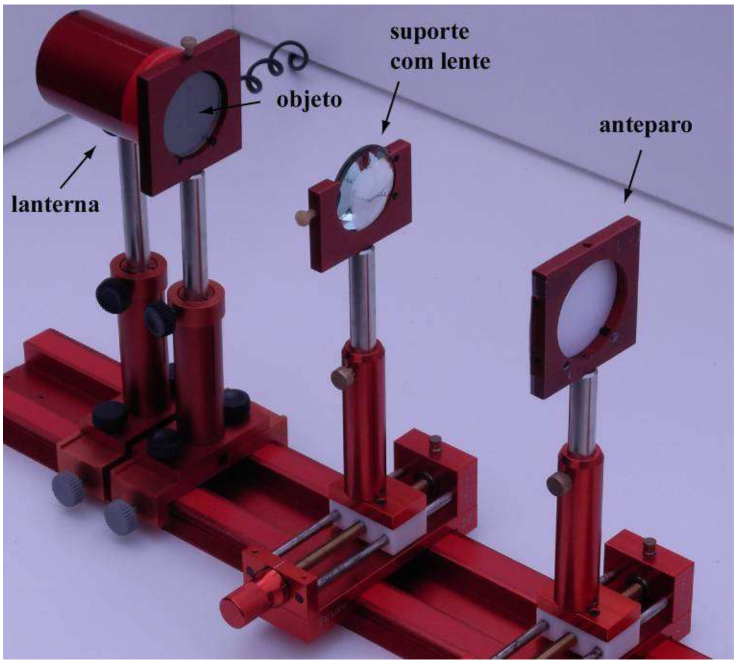

Figura 10 – Fotografia da montagem experimental, mostrando, da esquerda para a direita, a lanterna com a seta, a lente e o anteparo

5. Observação da formação de imagens geradas por um espelho côncavo

Nesse experimento vamos observar as imagens extensas formadas por um espelho côncavo usando luz branca.

a) Faça a montagem indicada na figura 11. Coloque um objeto (fenda iluminada em forma de seta) perpendicularmente e próximo ao eixo óptico de um espelho. Mova o espelho até que sua imagem nítida seja formada no plano do objeto, i.e., até que a posição da imagem coincida com a do objeto. Nestas condições, será encontrado o centro de curvatura do espelho (justifique essa afirmação). Esse valor é compatível com o valor determinado anteriormente (experimento 1) para a distância focal?

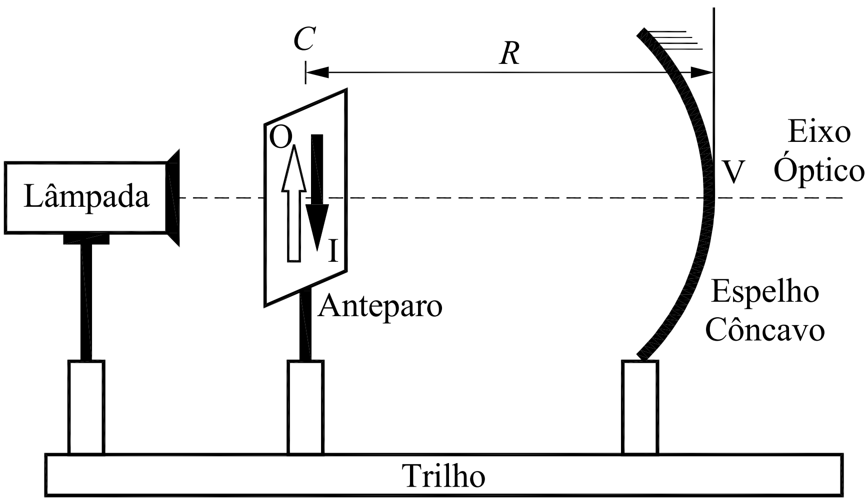

Figura 11 – Montagem experimental para determinação do centro de curvatura de um espelho côncavo utilizando uma lanterna.

b) Monte o aparato experimental mostrado nas figuras 12 e 13a. Posicione um espelho côncavo no trilho óptico em frente da fenda iluminada (objeto). Cuide para que o eixo óptico do espelho esteja perpendicular à fenda e passando aproximadamente pelo seu centro.

c) Coloque um pequeno anteparo num suporte. A borda superior do cartão deverá ficar *na altura da metade* do objeto. Inclinando ligeiramente para baixo o espelho, você deverá observar uma imagem nítida se formar no cartão. Movendo ligeiramente o cartão ao longo do trilho verifique se a focalização da imagem é melhorada (situação 1). Para você pensar: por que a imagem não fica cortada pela metade?

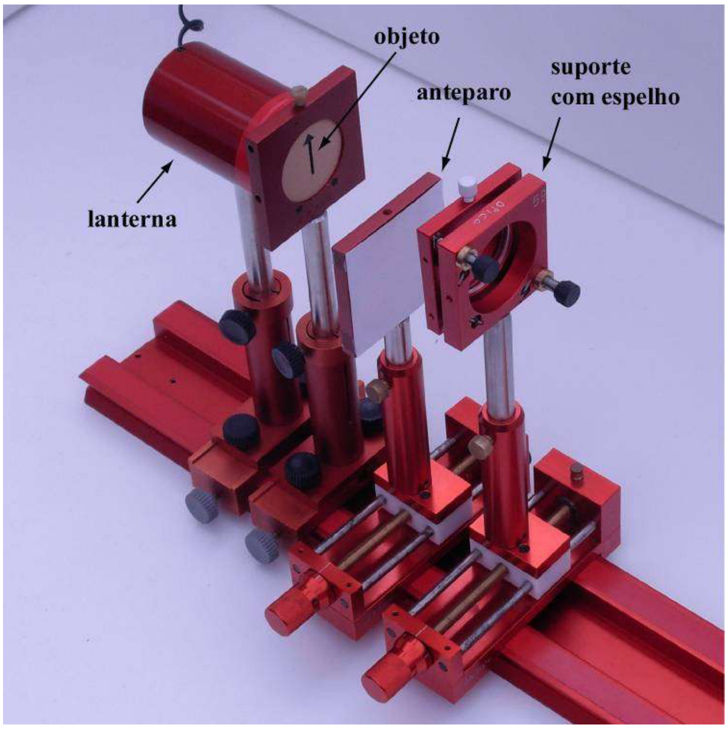

Figura 12 – Fotografia da montagem experimental para observação de imagens formadas por um espelho côncavo utilizando uma lanterna.

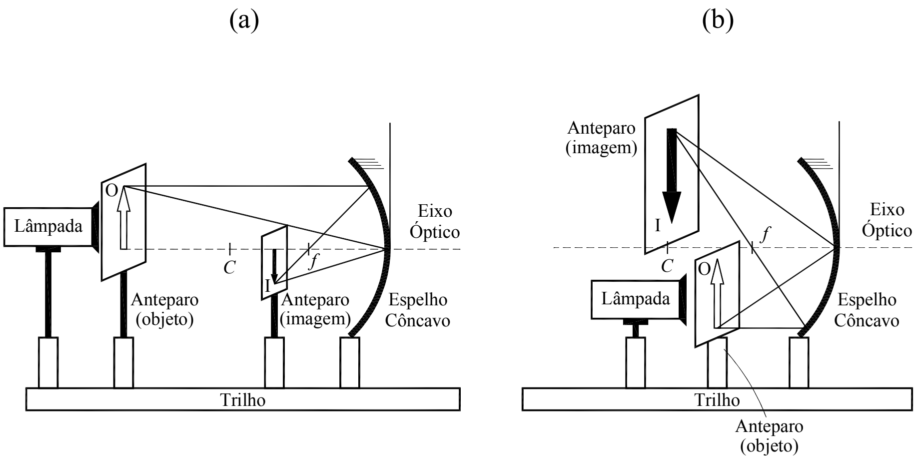

Figura 13 – Montagens experimentais para experimentos com imagens reais formadas por espelhos côncavos utilizando uma lanterna.

d) Com a distância focal determinada no experimento 1 e os valores de *s* e *o* medidos nessa situação, calcule s’ e o’. Meça s’ e o’ e determine o erro% entre os valores medidos e os calculados. Use a eq. 6 e s e s’ medidos para calcular *f*.

Determinação da posição das imagens geradas por um espelho côncavo usando uma lanterna

	Situação 1	**Situação 2**
s **(cm)**		
Tamanho do objeto (cm)		
s' **(cm) (medido)**		
s' **(cm) (calculado)**		
o' **(cm) (medido)**		
o' **(cm) (calculado)**		
f **(cm) (calculado)**		

e) Mova o espelho (ou o objeto) de modo que o objeto esteja posicionado entre o seu centro de curvatura e o foco (situação 2). Neste caso, faça com que a metade inferior do espelho esteja alinhada com o eixo óptico (como na figura 13b) e incline o espelho ligeiramente para cima. Utilizando a equação 6 determine a posição da imagem e posicione o anteparo na posição encontrada. Ajuste-o até obter uma imagem nítida. Discuta as características da imagem (natureza, tamanho e orientação) de acordo com o previsto pela teoria. **Dica**: Para facilitar o posicionamento do anteparo, escolha s tal que a imagem se forme atrás da lanterna.

f) Repetir o item d) para a situação 2.