

# Física: Óptica

## TÓPICO 14: Refração da luz e lentes

Você sabe como funciona o olho humano, como a miopia e a hipermetropia afetam a nossa visão e como podemos corrigi-las? Gostaria de saber qual é o princípio físico que descreve o arco-íris? Nesta aula são apresentados os fundamentos da refração da luz, um conceito da física que permite responder essas e muitas outras perguntas.

### 1 Refração

Para ilustrar a origem da refração, considere um grupo de estudantes alinhados lado a lado e com as mãos dadas. Todos caminham na mesma direção e com a mesma velocidade até encontrarem uma linha em diagonal que divide a sala em “dois meios”, como mostra a figura 1. O alinhamento dos estudantes pode ser visto como uma frente de onda plana. A normal  $N$  é perpendicular à linha diagonal. No meio 1, os estudantes caminham com velocidade alta ( $v_1$ ) e no meio 2 caminham com velocidade baixa ( $v_2$ ). Quando o primeiro estudante chega na linha, sua velocidade é reduzida abruptamente, enquanto a velocidade dos demais permanece a mesma. À medida que os estudantes vão chegando na linha diagonal, suas velocidades também são reduzidas, provocando a mudança da direção de propagação do alinhamento. Este efeito faz com que o raio da direção de propagação se aproxime da normal  $N$  após a refração (o ângulo  $r$  é menor que o ângulo  $i$ ).

A refração também é observada quando a velocidade dos estudantes aumenta no meio 2, conforme mostra a figura 2. Quando isso acontece, o ângulo de refração  $r$  torna-se maior que o ângulo de incidência  $i$ . Quando a velocidade no meio 2 é menor, dizemos que o meio 2 é mais refringente que o meio 1 e quando a velocidade no meio 2 é maior, dizemos que o meio 2 é menos refringente que o meio 1.

Não existe desvio de direção quando a frente de

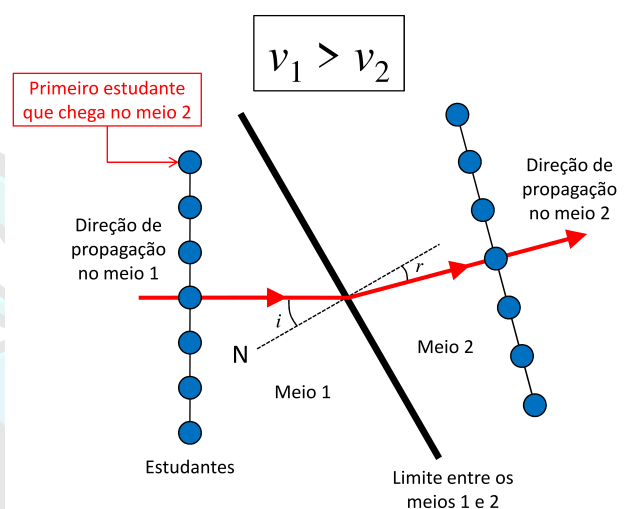


Figura 1: Refração de uma frente de onda ao transitar de um meio menos refringente (meio 1) para um meio mais refringente (meio 2).

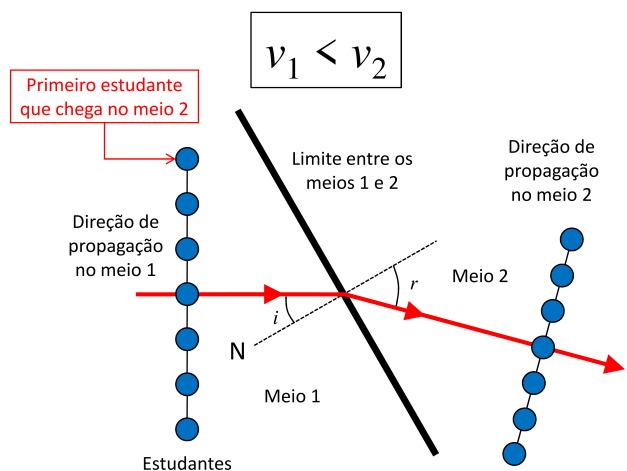


Figura 2: Refração de uma frente de onda ao transitar de um meio mais refringente (meio 1) para um meio menos refringente (meio 2).

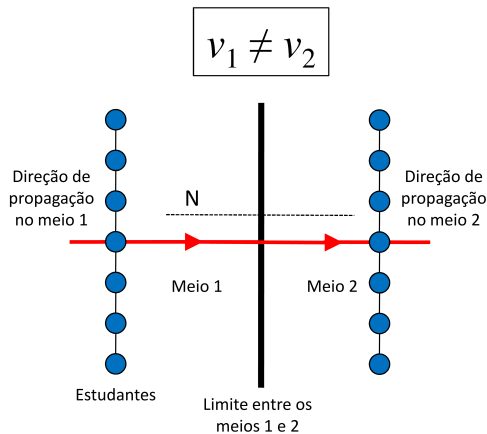


Figura 3: Refração quando a direção de propagação é paralela à normal  $N$ .

onda é paralela à normal  $N$ , como mostra a figura 3. Isso acontece porque os estudantes chegam no mesmo instante na linha que limita os dois meios. Ao passarem para o meio 2, a velocidade de todos aumenta ou reduz no mesmo instante, impedindo o desvio.

Esses princípios descrevem tanto a refração das ondas mecânicas quanto das ondas eletromagnéticas. Nas próximas seções, serão abordadas apenas questões envolvendo a refração da luz visível.

### 1.1 Índice de refração

O desvio que a luz faz ao passar de um meio para o outro depende da velocidade da luz nos dois meios. O parâmetro que relaciona essas velocidades, estabelecendo se um meio é mais ou menos refringente que o outro, é chamado de **índice de refração**:

$$n = \frac{v_1}{v_2} \quad (1)$$

em que  $v_1$  e  $v_2$  representam as velocidades nos meios 1 e 2, respectivamente. A equação 1 determina o **índice de refração relativo** para o meio 2. Se o primeiro meio é o vácuo, obtemos o **índice de refração absoluto** para o meio 2:

$$n = \frac{c}{v} \quad (2)$$

em que  $v$  é a velocidade do raio de luz no meio 2 e  $c$  a velocidade do raio de luz no vácuo ( $\approx 3 \times 10^8$  m/s) no meio 1. O índice de refração é adimensional e alguns exemplos do índice de refração absoluto são apresentados na tabela 1. Considerando dois meios com índices de refração absolutos  $n_1 = c/v_1$  e  $n_2 = c/v_2$ , é possível relacionar os dois meios por meio da equação:

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{\left(\frac{c}{v_1}\right)}{\left(\frac{c}{v_2}\right)} = \left(\frac{v_2}{v_1}\right) = \frac{v_2}{v_1}$$

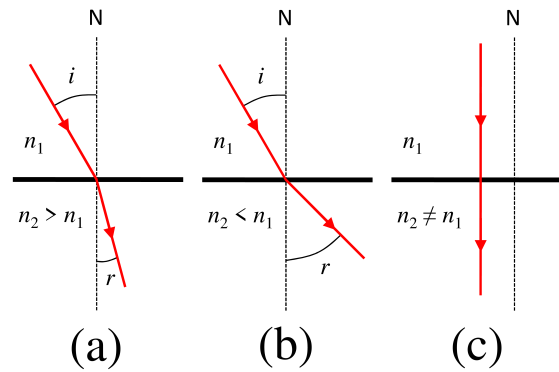


Figura 4: Refração da luz para (a)  $n_2 > n_1$ , (b)  $n_2 < n_1$  e (c) quando o feixe incide paralelamente à normal  $N$ .

Tabela 1: Índice de refração absoluto para diversos meios. \* Valor para 15°C em 1 atm.

Meio	Índice de refração ( $n$ )
ar*	1,0003
Água	1,33
Álcool etílico	1,36
Acrílico	1,49
Vidro	1,50
Glicerina	1,90
Diamante	2,42

$$n_1 = \left(\frac{v_2}{v_1}\right) n_2 \quad (3)$$

mostrando que  $n_1 > n_2$  quando  $v_2 > v_1$  (exemplo da figura 2) e  $n_1 < n_2$  quando  $v_2 < v_1$  (exemplo da figura 1).

### 1.2 Refração da luz

A figura apresenta três situações de um raio (ou feixe) de luz incidindo sobre uma superfície. A figura 4(a) é similar ao caso da figura 1, onde a redução da velocidade no meio 2 reduz o ângulo de refração  $r$ . Com a velocidade menor no meio 2, o índice de refração  $n_2$  torna-se maior que  $n_1$ . A mesma situação ocorre para a figura 4(b) que é similar ao caso da figura 2. A figura 4(c) apresenta a situação de um raio de luz incidindo na superfície paralelamente ao eixo normal  $N$  e independente de  $n_2$  ser maior ou menor que  $n_1$ , não existe o desvio da luz, conforme previsto na figura 3. Em todos os casos, o raio incidente, o raio refratado e a normal  $N$  estão no mesmo plano. Esta condição é conhecida como **1ª lei da refração**.

A lei que descreve a refração, conforme visto na aula sobre ondas mecânicas, é chamada de **lei de Snell** ou **lei de Snell-Descartes** ou **2ª lei da refração**:

$$\frac{\text{sen}(i)}{\text{sen}(r)} = \frac{v_1}{v_2}$$

em que  $i$  é o ângulo de incidência da luz,  $r$  o ângulo

de refração,  $v_1$  a velocidade da luz no meio 1 e  $v_2$  a velocidade no meio 2. Substituindo a equação 3 na lei de Snell, obtemos:

$$\frac{\text{sen}(i)}{\text{sen}(r)} = \frac{n_2}{n_1}$$

que pode ser escrita no seu formato usual:

$$n_1 \text{sen}(i) = n_2 \text{sen}(r) \quad (4)$$

### FIQUE LIGADO

- $n_2 > n_1$  : raio de luz tem incidência oblíqua, a velocidade da luz diminui e o raio de luz se aproxima da normal.
- $n_2 < n_1$  : raio de luz tem incidência oblíqua, a velocidade da luz aumenta e o raio de luz se afasta da normal.
- $i = 0$  : raio de luz tem incidência perpendicular, a velocidade da luz pode aumentar (se  $n_2 < n_1$ ) ou diminuir (se  $n_2 > n_1$ ) e não há desvio do raio de luz.

Com a equação 4 é possível determinar o valor do ângulo  $i$  para que o raio de luz seja refletido ao atingir a interface entre os meios 1 e 2, sem a refração parcial do feixe, conforme ilustra a figura 5. O feixe A é paralelo ao eixo normal  $N$  e não sofre desvio ao passar do meio 1 para o 2. O feixe B faz um ângulo  $i$  com a normal e o feixe refratado sofre um desvio, passando a formar um ângulo  $r \neq i$  com o eixo normal. O raio C faz um ângulo  $i_c$  com a normal e o feixe refratado sobre um desvio de  $90^\circ$  em relação ao eixo normal. Este ângulo é conhecido como **ângulo crítico para reflexão total**. A partir dele, todo raio incidido é totalmente refletido e isso só acontece quando o raio de luz vai do meio mais refringente para o menos refringente ( $n_1 > n_2$ ). O valor deste ângulo é obtido com a equação 4, considerando  $r = 90^\circ$ :

$$\text{sen}(i_c) = \frac{n_2}{n_1} \quad (5)$$

em que  $\text{sen}(r) = \text{sen}(90^\circ) = 1$  e  $n_1 > n_2$ . O ângulo de incidência  $i$  do raio D é maior que o ângulo crítico  $i_c$ ; logo, o feixe é refletido com o mesmo ângulo ( $r = i$ ). A refração da luz permite o estudo de diversos fenômenos ópticos, conforme descrito a seguir.

## 2 Aplicações

### 2.1 Dioptrio plano

O dioptrio plano é um sistema de refração composto por dois meios transparentes e homogêneos separados por uma superfície plana capaz de gerar ilusão de óptica em um observador com a profundidade aparente de um objeto. Um exemplo típico é a observação de um objeto localizado no fundo de uma piscina, onde o observador, fora da piscina, tem a impressão de que

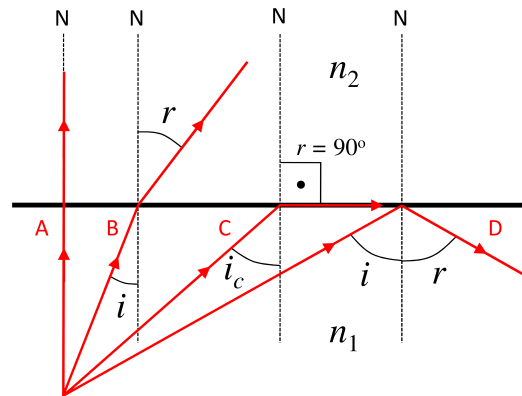


Figura 5: Ângulo crítico para reflexão total.

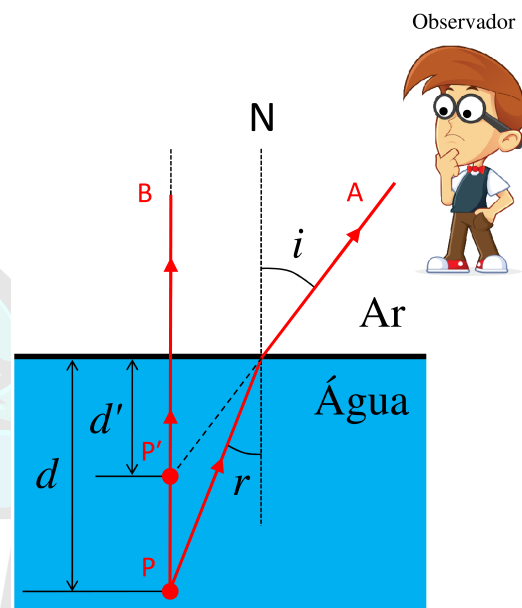


Figura 6: Dioptrio plano (Figura produzida com recursos de PNG Fuel 2020).

o objeto não parece estar no lugar que efetivamente está. A figura 6 ilustra a situação. Um objeto  $P$  está numa profundidade  $d$  dentro de uma piscina com água. Devido a refração dos raios luminosos emitidos por  $P$ , o observador vê a imagem  $P'$  que está numa profundidade aparente  $d'$ . A relação entre as distâncias  $d$  e  $d'$  com os índices de refração dos meios é dada pela equação:

$$\frac{d}{d'} = \frac{n_2}{n_1} \quad (6)$$

em que  $n_2$  é o índice de refração do meio onde está o objeto e  $n_1$  o índice de refração do meio onde está o observador.

### 2.2 Lâmina de faces paralelas

A lâmina de faces paralelas é um sistema de refração composto por três meios transparentes e homogêneos como, por exemplo, uma janela, onde o primeiro e o

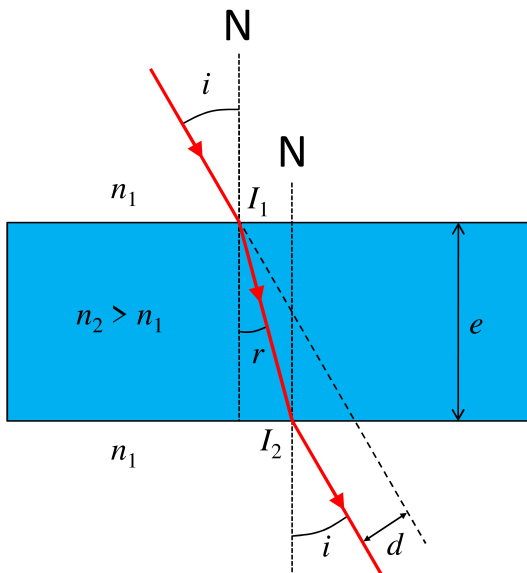


Figura 7: Lâmina de faces paralelas.

terceiro meio são compostos por ar e o segundo meio é composto pela lâmina de vidro da janela. A figura 7 ilustra a situação. Um raio de luz incide no ponto  $I_1$  e sofre refração devido a passagem do meio  $n_1$  para o meio  $n_2 > n_1$ . Em seguida, o raio sofre outra refração devido a passagem do meio  $n_2$  para o meio  $n_1$  no ponto  $I_2$ . Como primeiro e o terceiro meio são iguais, o raio refratado no ponto  $I_2$  possui um caminho óptico paralelo à projeção do caminho óptico percorrido pelo raio antes de atingir o ponto  $I_1$ . A distância  $d$  entre estes dois caminhos é calculada com a equação:

$$d = e \left[ \frac{\sin(i - r)}{\cos(r)} \right] \quad (7)$$

em que  $e$  é a espessura da lâmina,  $i$  o ângulo de incidência no ponto  $I_1$  e  $r$  o ângulo de refração.

### 2.3 Prismas

O prisma é um sistema de refração composto por três meios transparentes e homogêneos com faces planas não paralelas, conforme ilustrado na figura 8. O raio de luz incide com um ângulo  $i_1$  no meio  $n_1$  e sofre refração com um ângulo  $r_1$  no meio  $n_2$  em relação ao eixo normal  $N$  que é perpendicular com a primeira face do prisma. Em seguida, o feixe incide com um ângulo  $i_2$  na segunda face e é refratado com um ângulo  $r_2$ .

O ângulo de abertura  $\Delta$  do prisma e o desvio angular  $\delta$  do raio luminoso podem ser calculados com as equações:

$$\Delta = r_1 + r_2 \quad (8)$$

$$\delta = i_1 + i_2 - \Delta \quad (9)$$

Quando os ângulos  $i_1$  e  $i_2$  são congruentes ( $i_1 = i_2 = i$ ), o desvio angular  $\delta$  é mínimo. Nesta condição, os

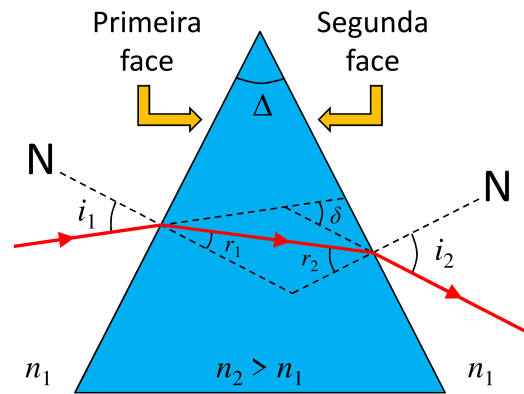


Figura 8: Prisma.

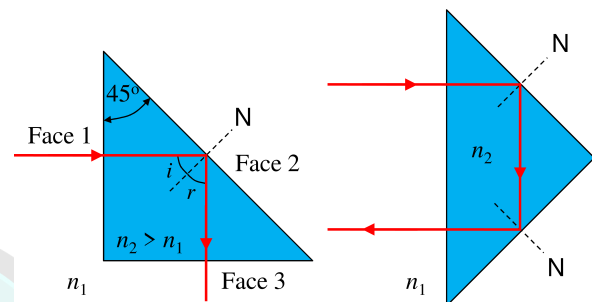


Figura 9: Prisma de reflexão total em uma e duas faces.

ângulos de refração também são iguais ( $r_1 = r_2 = r$ ). Isso faz com que a abertura do prisma seja  $\Delta = 2r$  e o desvio angular seja  $\delta = 2(i - r)$ .

Nos prismas também pode ocorrer a reflexão total em uma ou mais faces, como mostra a figura 9. Esses dispositivos são conhecidos como **prismas de reflexão total** e são fundamentais para construção de instrumentos ópticos, como binóculos e máquinas fotográficas. Para a reflexão total em prismas de vidro, o ângulo mínimo de incidência é dado pela equação 5:

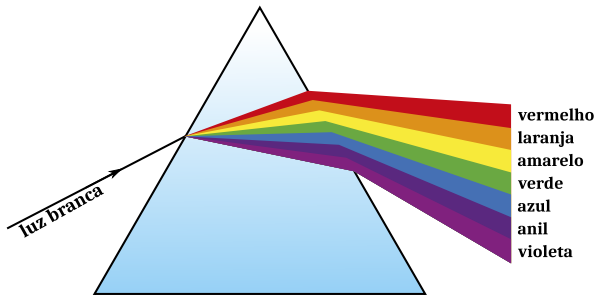
$$\sin(i_c) = \frac{n_{\text{ar}}}{n_{\text{vidro}}}$$

em que  $n_{\text{ar}}$  e  $n_{\text{vidro}}$  são dados pela tabela 1:

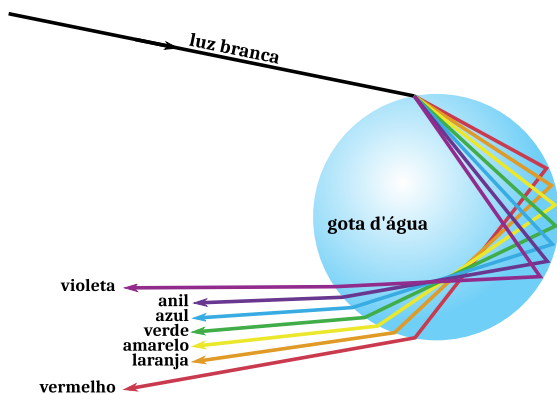
$$\sin(i_c) = \frac{1}{1,5} \quad \text{ou} \quad i_c = 42^\circ$$

indicando que a reflexão é total quando o ângulo de incidência é  $i \geq 42^\circ$ . Na figura 9, o raio é perpendicular às faces 1 e 3 e, portanto, não sofre desvio ao mudar de meio (ar para vidro e vidro para ar). Existe mudança apenas na face 2, quando  $i = 45^\circ$ . Como o ângulo é maior que o ângulo crítico  $i_c$ , o feixe sofre reflexão total.

O índice de refração do meio também depende do comprimento de onda do raio luminoso, fazendo com que raios de diferentes comprimentos de onda sejam refratados com diferentes desvios angulares. A luz branca, por exemplo, é composta por todas as cores que compõe o espectro eletromagnético visível, fenômeno explicado por Sir Isaac Newton. Isso faz



**Figura 10:** Dispersão (separação) da luz branca com um prisma (Figura retirada de Wikimedia Commons: Dispersion (Jibin 1840404 / CC BY-SA (https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0)) 2020).

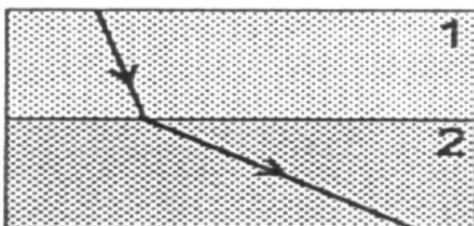


**Figura 11:** Formação do arco-íris em uma gota de água (Figura retirada de Best Physics Tuition: The Physics Behind Rainbow Formation 2020).

com que a luz branca seja separada em todas as suas cores ao incidir na primeira face do prisma, conforme mostra a figura 10. Esse efeito é o responsável pela formação de arco-íris, conforme mostra a figura 11. A luz branca sofre a primeira refração ao entrar na gota de água. Em seguida, sofre reflexão total, com posterior refração ao sair da gota.

**Exercício 1**

(ACAFE) A figura abaixo mostra um feixe de luz que passa de um meio 1 para um meio 2. Sendo o índice de refração do ar 1,00, da água 1,33 e do vidro 1,50, pode-se afirmar que os meios 1 e 2, respectivamente, podem ser:



- I. vidro e água
- II. ar e vidro
- III. água e vidro
- IV. vidro e ar
- V. água e ar

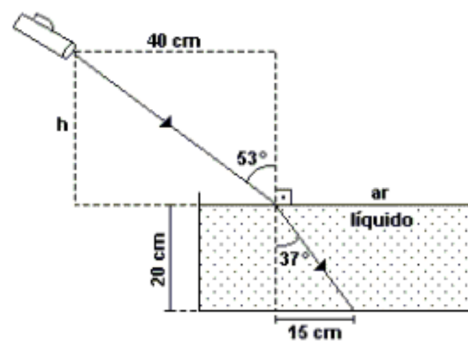
A alternativa, contendo todas as afirmações que são **VERDADEIRAS**, é:

- (a) I–II–V
- (b) III–IV
- (c) II–III
- (d) I–IV–V
- (e) I–V

**RESOLUÇÃO:** Como o raio refratado se afasta do eixo normal, o meio 2 tem índice de refração menor (menos refringente) que o meio 1 (mais refringente). As alternativas com essa característica são os itens I, IV e V. Portanto, a alternativa correta é o item (d).

**Exercício 2**

(PUC) De uma lanterna colocada no ar ( $n = 1,0$ ) sai um estreito feixe de luz que incide na superfície de separação entre o ar e um líquido transparente, refratando-se conforme mostra a figura. O índice de refração do líquido é:



- (a) 1,28
- (b) 1,33
- (c) 1,39
- (d) 1,46
- (e) 1,51

Dados:  $\text{sen}(37^\circ) = 0,60$  e  $\text{sen}(53^\circ) = 0,80$ .

**RESOLUÇÃO:** Para obter o índice de refração do líquido, basta aplicar a segunda lei da refração (equação 4):

$$n_{\text{ar}} \text{sen}(53^\circ) = n_{\text{líquido}} \text{sen}(37^\circ)$$

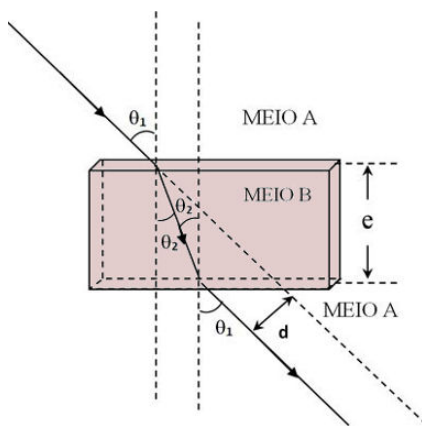
$$n_{\text{líquido}} = \frac{n_{\text{ar}} \text{sen}(53^\circ)}{\text{sen}(37^\circ)} = \frac{(1,0)(0,80)}{(0,60)} = 1,33$$



sendo, portanto, a alternativa correta o item (b).

### Exercício 3

(Mackenzie) Sabe-se que uma onda eletromagnética que se propaga em um meio homogêneo, transparente e isótropo, ao incidir sobre a superfície de outro meio, também transparente, homogêneo e isótropo, continua a se propagar nele, porém, com algumas alterações. Se o segundo meio citado for um corpo com a forma de paralelepípedo, pode-se ter uma situação como a ilustrada na figura, conhecida por *lâmina de faces paralelas*.



Para esse exemplo, é válido o modelo utilizado em óptica geométrica em que os raios incidente e emergente indicam a direção orientada de certa radiação eletromagnética na faixa da luz visível e, nesse caso, é válida a equação:

$$d = e \frac{\sin(\theta_1 - \theta_2)}{\cos(\theta_2)}$$

Com base nessa descrição e considerando  $\theta_1 > \theta_2$ , pode-se afirmar que:

- (a) A velocidade de propagação da luz no meio A é maior que a velocidade de propagação da luz no meio B.
- (b) A velocidade de propagação da luz no meio A é menor que a velocidade de propagação da luz no meio B.
- (c) A velocidade de propagação da luz no meio A é menor que a velocidade de propagação da luz no meio B, se  $45^\circ < \theta_1 < 90^\circ$ .
- (d) A velocidade de propagação da luz no meio A é menor que a velocidade de propagação da luz no meio B, se  $0^\circ < \theta_1 < 45^\circ$ .

(e) A velocidade de propagação da luz no meio A é igual à velocidade de propagação da luz no meio B.

**RESOLUÇÃO:** A velocidade da luz no meio A é maior que no meio B, pois a figura indica que  $\theta_1 > \theta_2$ . Portanto, a alternativa correta é o item (a).

### Problema 1

(UFSC) Uma lâmina de vidro de faces paralelas, perfeitamente lisas, de índice de refração  $n$ , é mergulhada completamente em um líquido transparente de índice de refração também igual a  $n$ . Observa-se que a lâmina de vidro torna-se praticamente invisível, isto é, fica difícil distingui-la no líquido.

Assinale a(s) proposição(ões) **CORRETA(S)**:

- 01. A lâmina de vidro torna-se opaca à luz.
- 02. A luz, ao passar do meio líquido para a lâmina de vidro, sofre reflexão total.
- 04. A luz sofre forte refração, ao passar do meio líquido para a lâmina de vidro e, também, desta para o meio líquido.
- 08. Quando a luz passa do líquido para o vidro, ocorre mudança no seu comprimento de onda.
- 16. A luz não sofre refração, ao passar do meio líquido para a lâmina de vidro.
- 32. A luz que se propaga no meio líquido não sofre reflexão ao incidir na lâmina de vidro.
- 64. A luz sofre desvio, ao passar do líquido para a lâmina e, desta para o líquido, porque a velocidade da luz nos dois meios é diferente.

**RESOLUÇÃO:**

- 01. Incorreta. O enunciado diz que a lâmina de vidro torna-se praticamente invisível após ser mergulhada na água. Isto significa que ela está transparente dentro do líquido.
- 02. Incorreta. Como o índice de refração é o mesmo em ambos os meios, não existe reflexão total.
- 04. Incorreta. Como o índice de refração é o mesmo em ambos os meios, não existe refração.

08. Incorreta. O índice de refração não altera o comprimento de onda do raio luminoso.

16. Correta, conforme já apresentado.

32. Correta, conforme já apresentado.

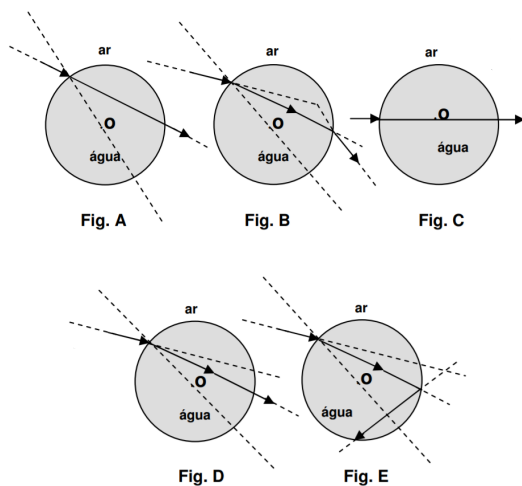
64. Incorreta. Como o índice de refração é o mesmo em ambos os meios, a velocidade da luz não é alterada.

Portanto, a soma dos itens corretos é 48.

### Problema 2

(UFSC) A aparência do arco-íris é causada pela dispersão da luz do Sol, a qual sofre refração pelas gotas de chuva. A luz sofre uma refração inicial quando penetra na superfície da gota de chuva; dentro da gota ela é refletida e sofre nova refração ao sair da gota.

Com o intuito de explicar o fenômeno, um aluno desenhou as possibilidades de caminhos óticos de um feixe de luz monocromática em uma gota d'água, de forma esférica e de centro geométrico O, representados nas figuras A, B, C, D e E.



Admitindo-se que o índice de refração do ar ( $n_{\text{ar}}$ ) seja menor que o índice de refração da água ( $n_{\text{água}}$ ), assinale a(s) proposição(ões) **CORRETA(S)**.

01. A velocidade da luz no ar é maior do que na água.

02. A e D são caminhos óticos aceitáveis.

04. B e C são caminhos óticos aceitáveis.

08. D e E são caminhos óticos aceitáveis.

16. A e C são caminhos óticos aceitáveis.

32. B e E são caminhos óticos aceitáveis.

### RESOLUÇÃO:

01. Correta. O índice de refração da água é 1,33 (tabela 1); logo, a velocidade da luz no ar ( $n = 1,0$ ) é maior que na água.

02. Incorreta. A linha tracejada que passa pelo ponto O é o eixo normal do sistema. Na figura A, o raio incide com um ângulo  $i \neq 0$  e não sofre desvio tanto na transição do ar para a água quanto da água para o ar. Na figura D, o raio sofre desvio apenas na transição do ar para a água. Logo, ambos os caminhos óticos estão incorretos.

04. Correta. Na figura B, o raio sofre desvio nas duas interfaces (ar-água e água-ar). Na primeira interface, o ângulo de refração se aproxima do eixo normal e na segunda interface, o ângulo de refração se afasta do eixo normal. Na figura C, o raio está na mesma direção do eixo normal; logo, não sofre refração.

08. Incorreta. O caminho ótico da figura D está incorreto, conforme já apresentado. O caminho da figura E está correto, pois sofre refração na primeira interface e reflexão total na segunda interface.

16. Incorreta. O caminho A está incorreto e o caminho C está correto, conforme já apresentado.

32. Correta. Ambos os caminhos estão corretos, conforme já apresentado.

Portanto, a soma dos itens corretos é 37.

### Problema 3

(UDESC) Um feixe de luz, cujo comprimento de onda é igual a 600 nm, propagando-se no ar, incide sobre um bloco de material transparente. O feixe de luz incidente forma um ângulo de  $30^\circ$  com relação a uma reta normal à superfície do bloco, e o refratado faz um ângulo de  $20^\circ$  com a normal. Considerando o índice de refração do ar igual a 1,00 e a tabela abaixo, o valor do índice de refração do material é:

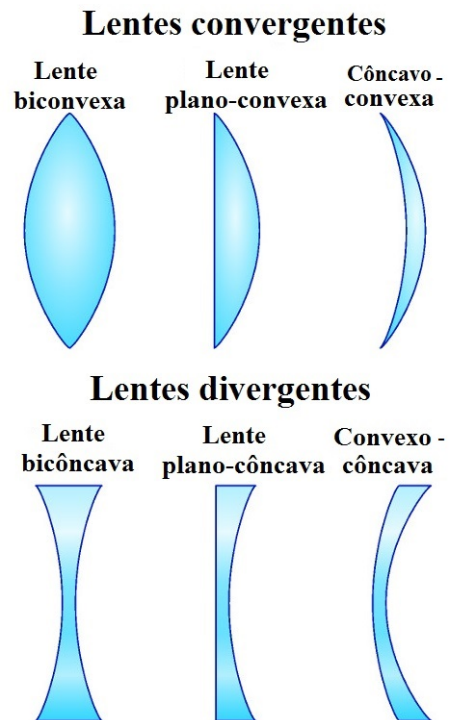
- (a) 1,47
- (b) 0,68
- (c) 2,56
- (d) 0,93
- (e) 1,00

Ângulo ( $\theta$ )	$\text{sen}(\theta)$	$\text{cos}(\theta)$
$20^\circ$	0,34	0,94
$30^\circ$	0,50	0,87
$60^\circ$	0,87	0,50
$70^\circ$	0,94	0,34

**RESOLUÇÃO:** Considerando que os ângulos de incidência e refração são medidos em relação ao eixo normal, o índice de refração do material é obtido diretamente pela 2ª lei da refração:

$$n_{\text{material}} = \frac{n_{\text{ar}} \text{sen}(30^\circ)}{\text{sen}(20^\circ)} = \frac{(1,00)(0,50)}{0,34} = 1,47$$

sendo, portanto, a alternativa correta o item (a).



**Figura 12:** Tipos de lentes convergentes e divergentes (Figura retirada de M. M. Teixeira, Brasil Escola: Lentes 2020).

## 2.4 Lentes

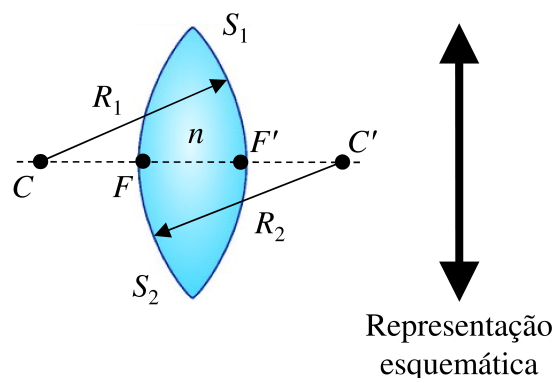
As lentes são dispositivos ópticos que funcionam pela refração da luz e são usados, por exemplo, na construção de óculos, câmeras fotográficas, binóculos, lunetas e telescópios. Os materiais mais utilizados na produção de lentes são o vidro e o plástico devido à transparência e homogeneidade. Na produção de lentes para óculos, por exemplo, pode ser utilizado vidro, acrílico e policarbonato. Porém, por fragilidade e o peso do vidro, os polímeros têm se tornado a principal opção, apesar do vidro apresentar os maiores índices de refração que pode ser utilizado na correção de elevados graus de miopia.

As lentes podem apresentar duas ou apenas uma superfície esférica, conforme ilustra a figura 12, e são classificadas como **lentes convergentes** e **lentes divergentes**. As lentes convergentes, ou positivas, são aquelas que possuem o centro mais espesso. Neste caso, existem as lentes **biconvexa** (dois lados convexos), **plano-convexa** (um lado plano e outro convexo) e **côncavo-convexa** (um lado côncavo e outro convexo). As lentes divergentes, ou negativa, são aquelas que possuem a borda mais espessa. Neste caso, existem as lentes **bicôncava** (dois lados côncavos), **plano-côncava** (um lado plano e outro côncavo) e **convexo-côncava** (um lado convexo e outro côncavo).

A figura 13 apresenta algumas características da lente convergente. Na lente biconvexa existem dois centros de curvatura representados  $C$  e  $C'$  e dois focos representados por  $F$  e  $F'$ . A superfície  $S_1$  possui raio de curvatura  $R_1$  e a superfície  $S_2$  possui raio de

curvatura  $R_2$ . **A distância focal para lentes também equivale a metade do raio de curvatura.** A figura 14 apresenta as características da lente divergente. Assim como na lente biconvexa, a lente bicôncava também possui dois centros de curvatura e dois focos.

As lentes podem ter o índice de refração  $n$  maior ou menor que do meio onde estão. Em situações convencionais, as lentes estão no ar, implicando que o seu índice de refração é maior ( $n > n_{\text{ar}}$ ). Nesta condição, raios paralelos ao eixo principal da lente são direcionados para o foco  $F'$  após a refração, conforme mostra a figura 15(a). Na figura 15(b) os raios luminosos para-



**Figura 13:** Propriedades da lente convergente (Figura produzida com recursos de M. M. Teixeira, Brasil Escola: Lentes 2020).



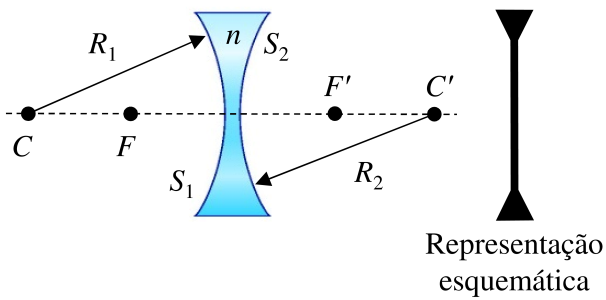


Figura 14: Propriedades da lente divergente (Figura produzida com recursos de M. M. Teixeira, Brasil Escola: Lentes 2020).

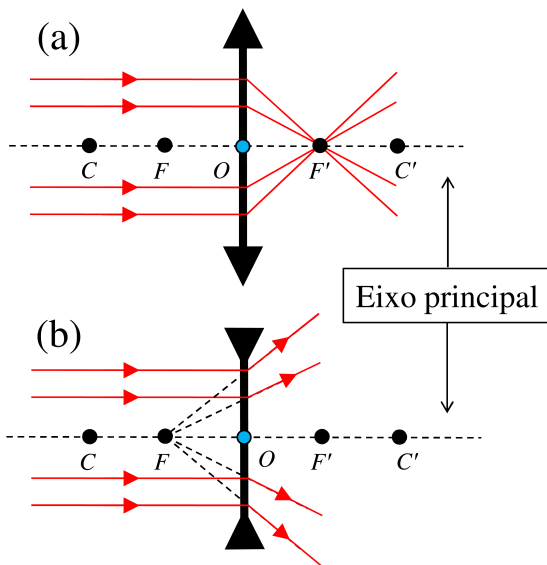


Figura 15: Refração dos raios luminosos em uma (a) lente convergente e uma (b) lente divergente quando o índice de refração da lente é maior que o índice de refração do meio externo.

lelos ao eixo principal são espalhados após a refração, com a projeção convergindo no foco  $F$  (antes do centro óptico  $O$ ). Além disso, todas as análises a seguir consideram que a espessura da lente é muito menor que as distâncias envolvidas no problema, como distância focal, centro de curvatura etc. Nesta condição, a lente é **delgada** e a representação esquemática deste modelo é ilustrada nas figuras 13 e 14.

#### 2.4.1 Obtenção geométrica das imagens

Para construção geométrica das imagens produzidas em lentes, é necessário utilizarmos os chamados **raios notáveis**, como mostra a figura 16. Eles representam os raios luminosos que são refratados sobre elementos geométricos específicos das lentes esféricas:

1. Todo raio de luz que incide paralelamente ao eixo principal, emerge da lente numa direção onde o raio ou o seu prolongamento passa por um dos

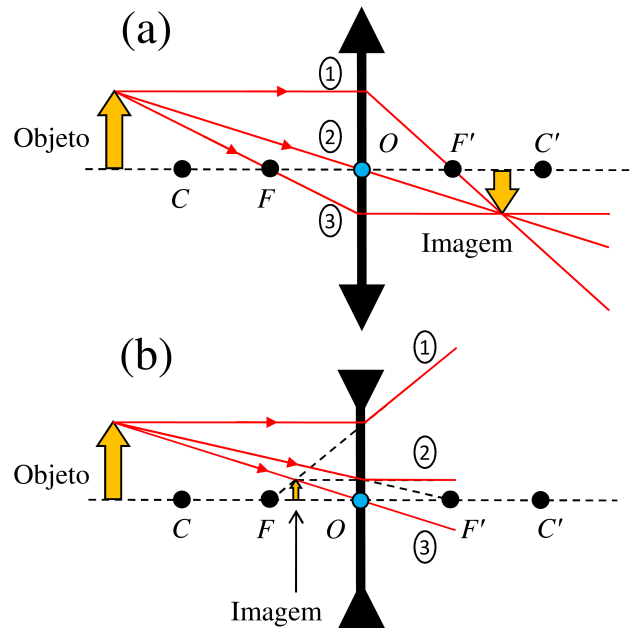


Figura 16: Raios notáveis em lente delgada (a) convergente e (b) divergente. Em ambos os casos, o objeto está posicionado antes do centro curvatura  $C$

focos. Esta situação é representada pelo raio 1 das figura 16(a) e 16(b).

2. Todo raio de luz que passa pelo centro óptico  $O$  não sofre desvio ao emergir da lente. Esta situação é representada pelo raio 2 na figura 16(a) e pelo raio 3 na figura 16(b).
3. Todo raio ou prolongamento que incide por uma direção que passa pelo foco, emerge da lente com direção paralela ao eixo principal, conforme mostra o raio 3 da figura 16(a) e o raio 2 da figura 16(b).

Para formação da imagem é necessário traçar os raios notáveis que são refratados pela lente. **A imagem é sempre formada no ponto onde, pelo menos, dois raios, ou seus prolongamentos, se cruzam**, conforme mostra a figura 16. Quando a imagem é formada no mesmo lado do objeto, ela é chamada de **virtual**. Se é formada no outro lado da lente, é chamada de **real**.

As imagens reais podem ser projetadas em anteparos como, por exemplo, uma folha de papel, são invertidas e formadas por, pelo menos, dois raios luminosos na maioria dos casos, como mostra a figura 16(a). As imagens virtuais não podem ser projetadas em anteparos, são direitas e formadas pelo cruzamento dos prolongamentos dos raios luminosos, como mostra a figura 16(b).

A formação de imagens em lentes convergentes envolvem cinco situações. Na primeira, o objeto está

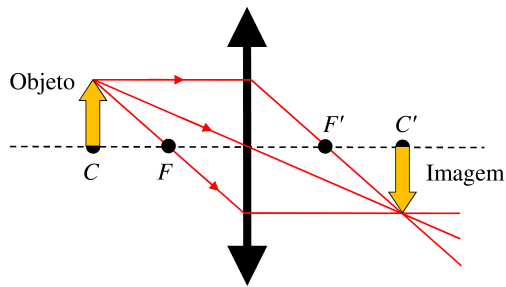


Figura 17: O objeto está posicionado no centro de curvatura.

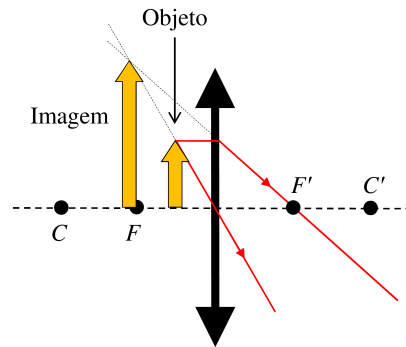


Figura 20: O objeto está posicionado entre o foco e o centro óptico da lente.

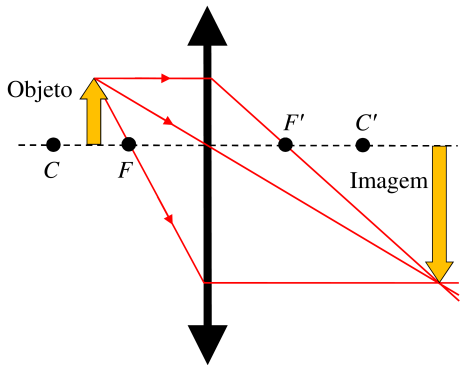


Figura 18: O objeto está posicionado entre o foco e o centro de curvatura.

posicionado antes do centro de curvatura, como mostra a figura 16(a). A imagem formada é real, invertida e menor. Na segunda situação, o objeto está sobre o eixo de curvatura. A imagem formada é real, invertida e do mesmo tamanho, conforme mostra a figura 17. Na terceira situação, ilustrada na figura 18, o objeto está entre o foco e o centro de curvatura e a imagem formada é real, invertida e maior. Na quarta situação, o objeto está sobre um dos focos da lente (figura 19). A imagem formada é imprópria (está no infinito). Na última situação, o objeto está entre o foco e o centro óptico da lente. A imagem formada é virtual, direita e maior, como mostra a figura 20. Para lentes convexas, a imagem será sempre virtual, direita e menor.

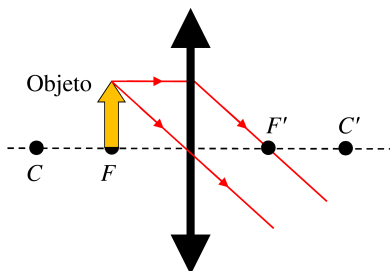


Figura 19: O objeto está posicionado sobre um dos focos da lente.

### 2.4.2 Obtenção analítica das imagens

Todas as equações que vimos no estudo dos espelhos esféricos também são válidas para lentes, assim como o **referencial de Gauss**. As lentes convergentes possuem foco positivo, enquanto as lentes divergentes possuem foco negativo. Qualquer objeto ou imagem real terá sinal positivo convencionado à sua posição. Imagem virtual terá sinal negativo convencionado à sua posição. Se o objeto/imagem for direita ou invertida, terá, respectivamente, sinal positivo ou negativo adicionado ao seu tamanho físico. As posições do objeto e da imagem, em relação ao centro óptico, são representados por  $p$  e  $p'$ , respectivamente, conforme mostra a figura 21. Com essas variáveis, é possível relacionar a distância focal com as posições dos pontos conjugados por meio da **equação de Gauss**:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \quad \text{ou} \quad f = \frac{pp'}{p+p'} \quad (10)$$

em que  $f = R/2$  é o foco e  $R$  o raio de curvatura da lente. Conhecendo a posição  $p$  do objeto e a localização do foco  $f$ , a equação 3 permite calcular a posição  $p'$  da imagem.

Com o tamanho do objeto e da imagem é possível calcular a altura da imagem em relação ao objeto. Para isso, é utilizada a **equação do aumento linear transversal** que possui três versões:

$$A = \frac{i}{o} = \frac{-p'}{p} = \frac{f}{f-p} \quad (11)$$

em que  $i$  e  $o$  representam a altura da imagem e objeto, respectivamente.

A **vergência** é a capacidade de uma lente curvar os raios luminosos. Ela também é chamada de **convergência** e popularmente conhecida como “grau” da lente. Matematicamente, a vergência  $V$  é definida por:

$$V = \frac{1}{f} \quad (12)$$

sendo representada em **dioptrias** (di) que, no sistema internacional de unidades, equivale ao inverso de

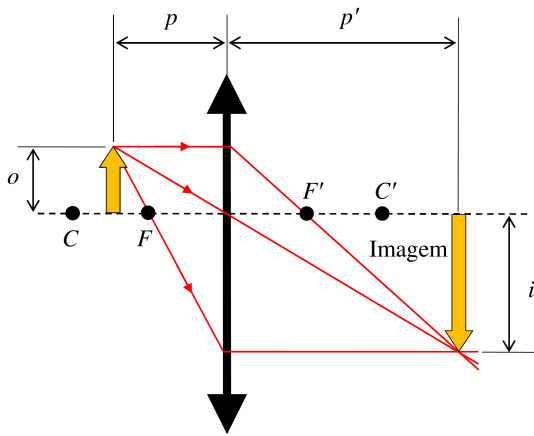
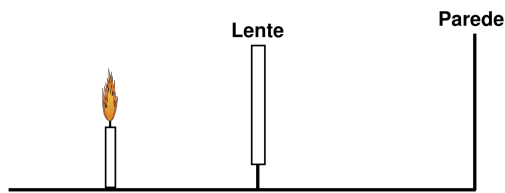


Figura 21: Obtenção analítica de imagens formadas por lentes.

metro ( $1 \text{ di} = 1 \text{ m}^{-1}$ ).  $f$  é a distância focal da lente.

#### Problema 4

(UFSC) Um estudante, utilizando uma lente, consegue projetar a imagem da chama de uma vela em uma parede branca, dispondo a vela e a lente na frente da parede conforme a figura.



Assinale a(s) proposição(ões) **CORRETA(S)**.

- 01. Tanto uma lente convergente quanto uma lente divergente projetam a imagem de um ponto luminoso real na parede.
- 02. A lente é convergente, necessariamente, porque somente uma lente convergente fornece uma imagem real de um objeto luminoso real.
- 04. A imagem é virtual e direita.
- 08. A imagem é real e invertida.
- 16. A lente é divergente, e a imagem é virtual para que possa ser projetada na parede.
- 32. Se a lente é convergente, a imagem projetada na parede pode ser direita ou invertida.
- 64. A imagem é real, necessariamente, para que possa ser projetada na parede.

#### RESOLUÇÃO:

- 01. Incorreta. Apenas lentes convergentes projetam imagens em anteparos, uma vez que lentes divergentes geram imagens virtuais.
  - 02. Correta.
  - 04. Incorreta. Nas situações em que é possível projetar a imagem no anteparo, a imagem produzida por uma lente convergentes é invertida.
  - 08. Correta.
  - 16. Incorreta.
  - 32. Incorreta. Para projetar no anteparo, a imagem é sempre invertida. A única maneira de gerar uma imagem direita na lente convergente é posicionando o objeto entre o foco e o centróptico, o que gera uma imagem virtual e sem a possibilidade de projeção no anteparo.
  - 64. Correta.
- Portanto, a soma dos itens corretos é 74.

#### Problema 5

(UFSC) Um objeto colocado próximo de uma lente projeta uma imagem de altura três vezes maior que ele e invertida. A distância entre o objeto e a imagem é de 40 cm.

Assinale a(s) proposição(ões) **CORRETA(S)**.

- 01. A distância entre o objeto e a lente é de 20 cm.
- 02. A distância focal da lente é de 7,5 cm.
- 04. A lente é convergente.
- 08. Uma lente divergente só pode formar imagens virtuais.
- 16. Uma lente convergente pode formar imagens reais e virtuais.

#### RESOLUÇÃO:

- 01. Incorreta. Nas circunstâncias apresentadas pelo enunciado, o objeto está posicionado entre o centro de curvatura e o foco da lente. Desta forma, a imagem formada é real, inver-

tida e maior. O enunciado também define que a distância entre o objeto e a imagem é 40 cm. Conforme o exemplo ilustrado na figura 21:

$$p + p' = 40 \quad (13)$$

A imagem é três vezes o tamanho do objeto e pela equação 11:

$$\frac{i}{o} = \frac{-p'}{p} \text{ ou } \frac{p'}{p} = -\frac{(-3o)}{o} = 3$$

$$p' = 3p \quad (14)$$

onde o sinal negativo em  $i = -3o$  significa que a imagem está invertida. Substituindo a equação 13 na equação 14:

$$p' = 3p = 3(40 - p')$$

$$4p' = 120$$

$$p' = 30 \text{ cm}$$

A distância  $p$  entre o objeto e a lente é obtida com a equação 13:

$$p = 40 - p' = 10 \text{ cm}$$

**02.** Correta. A distância focal é obtida diretamente pela equação de Gauss:

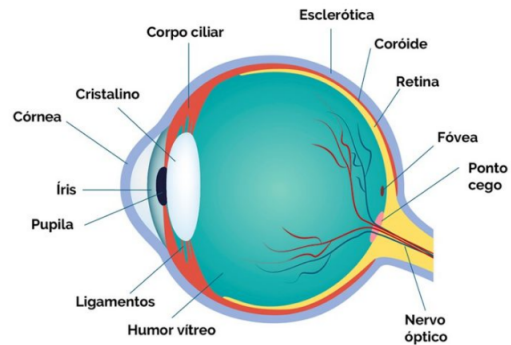
$$f = \frac{pp'}{p + p'} = \frac{(10)(30)}{10 + 30} = 7,5 \text{ cm}$$

**04.** Correta. A formação da imagem relatada no enunciado só é possível com uma lente convergente.

**08.** Correta, conforme descrito na seção 2.4.

**16.** Correta, conforme descrito na seção 2.4.

Portanto, a soma dos itens corretos é 30.



**Figura 22:** Olho humano (Figura retirada de FisMática: Óptica Geométrica - Olho Humano e Anomalias da Visão 2020).

Em relação à afirmação anterior, assinale a alternativa correta que complete as lacunas da frase a seguir.

Nesse período de dez anos, a distância focal das lentes desses óculos foi \_\_\_\_\_ em \_\_\_\_\_ cm.

- (a) reduzida - 10
- (b) aumentada - 10
- (c) reduzida - 0,5
- (d) aumentada - 0,5

**RESOLUÇÃO:** O foco nos dois casos é dado pela equação 12:

$$f = -\frac{1}{V}$$

Como as lentes são convergentes (côncavas), os focos são negativos. Isso implica que a vergência das lentes são  $-2,0$  e  $-2,5$  dioptrias. Esses dados fornecem, respectivamente, focos iguais a  $-0,5$  e  $-0,4$  m. Desta forma, houve a redução do foco em  $0,1 \text{ m} = 10 \text{ cm}$  após 10 anos. Portanto, a resposta correta é o item (a).

### Problema 6

(ACAFE) Dioptria é uma unidade de medida que afere o poder de vergência (ou refração) de um sistema óptico. Expressa a capacidade de um meio transparente modificar o trajeto da luz. Na óptica, é a unidade de medida da potência de uma lente corretiva (popularmente conhecida como grau).

Em uma consulta dez anos atrás, um médico oftalmologista receitou para uma pessoa óculos para correção de miopia com lentes divergentes de 2,0 dioptrias. Em uma consulta atual, uma nova receita foi feita, com 2,5 dioptrias.

### 2.5 Olho humano

O olho humano é um sistema óptico composto por vários meios transparentes como a córnea, íris, pupila, cristalino e o humor vítreo, conforme ilustra a figura 22. Estes meios permitem a passagem de luz até o fundo do olho para formação da imagem sobre a retina. Para estudo da óptica geométrica, este sistema pode ser substituído pelo esquema da figura 23, na qual os meios são representados por uma lente delgada convergente  $L$  situada a 5 mm da córnea e 15 mm do fundo de olho. A imagem formada sobre a retina é real, invertida e menor, como mostra a figura 24.

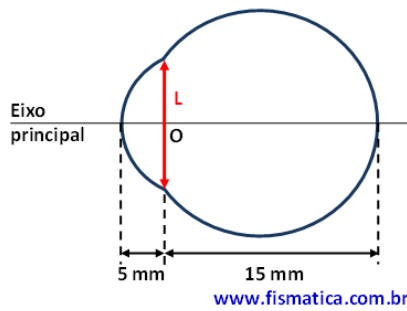


Figura 23: Representação esquemática do olho humano (créditos na imagem).

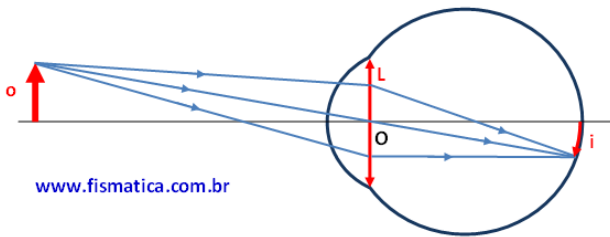


Figura 24: Formação de imagens no olho humano (créditos na imagem).

Como o objeto é formado sobre a retina, a distância da imagem  $p'$  é constante ( $\approx 15$  mm para um olho saudável). Com isso, pela equação de Gauss, a distância focal  $f$  tem posição variável, considerando que a posição  $p$  do objeto também varia. A capacidade do olho alterar sua posição focal é chamada de **acomodação visual** e consiste na contração e relaxamento do cristalino por meio dos músculos ciliares, permitindo ao observador enxergar um objeto posicionado de 25 cm até o infinito a partir da córnea. Quando os músculos ciliares estão em relaxamento máximo, o olho não realiza esforço de acomodação e o objeto está situado no infinito ( $p \rightarrow \infty$ ), mas ainda sendo visível ao observador. Este ponto é chamado de **ponto remoto**. Na situação contrária, o olho realiza esforço máximo (contração máxima) e o objeto está aproximadamente 25 cm da córnea. Este ponto é chamado de **ponto próximo**. Aplicando a equação de Gauss no ponto remoto, temos:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p'} + \frac{1}{p} \quad \therefore p' = f \quad (15)$$

O resultado da equação 15 mostra que o foco e a imagem estão sobre a retina quando o objeto está no infinito (ou distante). A definição de infinito neste contexto é quando as dimensões do olho são muito menores que a distância do objeto até a córnea. A figura 25 ilustra a formação da imagem de um objeto distante e um objeto próximo da córnea. A medida que o objeto se afasta, o ponto focal se aproxima da retina.

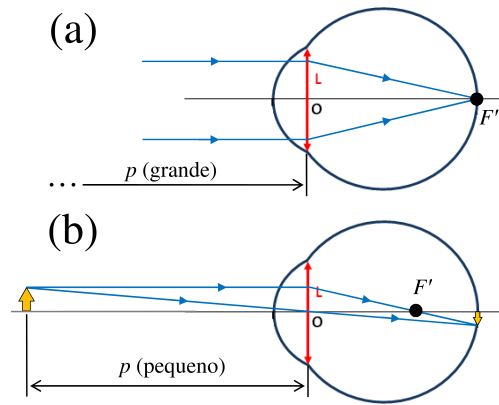


Figura 25: Alteração da distância focal para (a) um objeto distante e (b) um objeto próximo da córnea (Figura elaborada com recursos de FisMática: Óptica Geométrica - Olho Humano e Anomalias da Visão 2020).

Qualquer olho pode sofrer de **ametropias**, que é a condição que impõe restrições na acomodação visual do observador, levando aos defeitos de visão. Entre as principais ametropias, temos a **miopia**, **hipermetropia**, **presbiopia** e o **astigmatismo**.

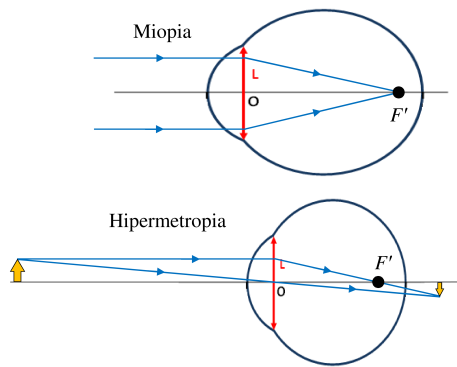
Na miopia, o observador não consegue enxergar objetos distantes devido ao alongamento do globo ocular, que impede a formação do foco sobre a retina, conforme ilustra a figura 26. Para correção, usa-se lente divergente que desloca o foco para trás, reposicionando-o sobre a retina, como mostra a figura 27. A figura 28 mostra uma pessoa segurando uma lente convergente e usando óculos com lente divergente. Observe que a lente convergente gera uma imagem invertida e menor, conforme descrito na figura 16(a).

Na hipermetropia, o observador não consegue enxergar objetos próximos devido ao encurtamento do globo ocular, que desloca a imagem para trás da retina, conforme ilustra a figura 26. Para correção, usa-se lente convergente que desloca a imagem para frente, reposicionando-a sobre a retina, como mostra a figura 27.

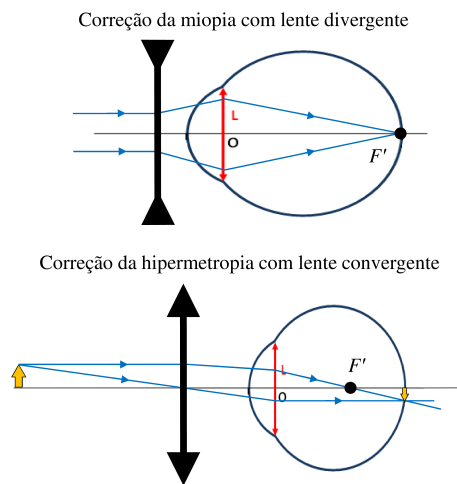
Na presbiopia, popularmente conhecida como “vista cansada”, os músculos ciliares perdem a elasticidade, ocasionando na redução da contração do cristalino na observação de objetos próximos. Isso faz com que a imagem também seja formada atrás da retina e para correção, também usa-se lente convergente. Caso o indivíduo também tenha dificuldades para enxergar pontos distantes, utiliza-se lente bifocal para correção.

No astigmatismo, a lente ocular possui imperfeições no raio de curvatura, passando a apresentar mais de um raio. Para correção, usa-se lente cilíndrica (tórica).





**Figura 26:** Miopia e hipermetropia (Figura elaborada com recursos de FisMática: Óptica Geométrica - Olho Humano e Anomalias da Visão 2020).



**Figura 27:** Correção da miopia com lente divergente (côncava) e hipermetropia com lente convergente (convexa) (Figura elaborada com recursos de FisMática: Óptica Geométrica - Olho Humano e Anomalias da Visão 2020).



**Figura 28:** Homem segurando uma lente convergente e usando óculos com lente divergente.

### Problema 7

(UFSC) As três doenças de visão mais comuns são miopia, hipermetropia e astigmatismo.

É **CORRETO** afirmar que:

- 01. as três têm origem em anomalias na estrutura do globo ocular.
- 02. podem ser corrigidas respectivamente por lentes côncavas, convexas e cilíndricas.
- 04. no míope a imagem se forma à frente da retina.
- 08. o hipermetrope enxerga mal de longe.
- 16. as duas primeiras podem ser corrigidas, respectivamente, por lentes convergentes e divergentes.

**RESOLUÇÃO:**

- 01. Correto. Na miopia, existe o alongamento do globo ocular; na hipermetropia, existe o encurtamento do globo ocular e no astigmatismo, existe a deformação da córnea e/ou cristalino.
- 02. Correto, conforme descrito na seção 2.5.
- 04. Correto, conforme descrito na seção 2.5.
- 08. Incorreto. O hipermetrope enxerga mal de perto.
- 16. Incorreto. Podem ser corrigidas, respectivamente, por lentes divergentes e convergentes.

Portanto, a soma dos itens corretos é 7.

### Problema 8

(UDESC) Os olhos dos seres humanos podem ser considerados sistemas ópticos. Eles são a janela de entrada da luz e, consequentemente, responsáveis pela formação das imagens que resultarão em nossa visão. Quando a formação de imagens no olho não é nítida, há alguma anomalia. Considerando as anomalias relativas à visão humana e os estudos sobre lentes, analise as proposições.

- I. Um encurtamento do bulbo do olho, se comparado ao comprimento normal do bulbo, é característico de pessoas com hipermetropia. Neste caso, a imagem forma-se depois da retina

e não sobre ela, prejudicando sua nitidez. Para correção desse problema de visão, utilizam-se lentes convergentes.

II. Um olho com miopia apresenta um alongamento do bulbo, quando comparado ao comprimento normal. Com isso, a imagem dos objetos acabará por se formar após a retina, prejudicando a nitidez da imagem formada. Para correção desse problema de visão utilizam-se lentes divergentes.

III. A dioptria de uma lente, também chamada de grau da lente, corresponde numericamente ao inverso da distância focal, medida em metros.

IV. Uma lente convergente de distância focal igual a 30 cm está imersa no ar. Quando se coloca um objeto de 5 cm de altura, a 40 cm de distância da lente, obtém-se uma imagem real, invertida, maior e localizada a 120 cm da lente.

Assinale a alternativa **correta**:

- (a) Somente as afirmativas II e IV são verdadeiras.
- (b) Somente as afirmativas I e III são verdadeiras.
- (c) Somente as afirmativas III e IV são verdadeiras.
- (d) Somente as afirmativas I, III e IV são verdadeiras.
- (e) Todas as afirmativas são verdadeiras.

#### RESOLUÇÃO:

I. Correta, conforme descrito na seção 2.5.

II. Incorreta. Na miopia, a imagem é formada antes da retina.

III. Correta, conforme descrito na seção 2.4.2.

IV. Correta. Como a distância focal vale 30 cm, o centro de curvatura está localizado em 60 cm. Considerando que o objeto está em 40 cm, ele está posicionado entre o foco e o centro de curvatura. Esta situação é ilustrada na figura 21. Desta forma, a imagem é real, invertida e maior. A sua posição  $p'$  é obtida pela equação

de Gauss:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \quad \therefore \frac{1}{p'} = \frac{1}{f} - \frac{1}{p}$$

$$p' = \frac{pf}{p-f} = \frac{(40)(30)}{40-30} = 120 \text{ cm}$$

considerando  $f > 0$  por se tratar de uma lente convergente (convexa), com  $p > 0$  e  $p' > 0$  para objeto e imagem real, respectivamente.

Portanto, a alternativa correta é o item (d).

#### COLABORADORES DESTA AULA

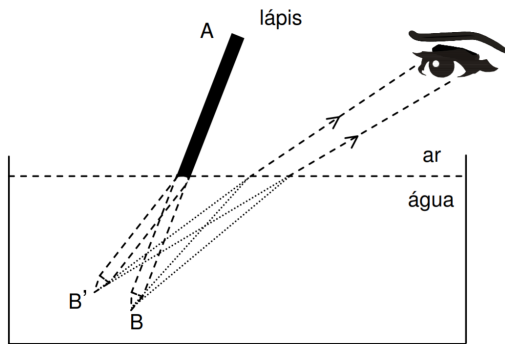
- **Texto:**  
Diego Alexandre Duarte
- **Diagramação:**  
Diego Alexandre Duarte
- **Revisão:**  
Alexandre Zabot  
Caroline Ruella Paiva Torres

## Referências Bibliográficas

- Best Physics Tuition: The Physics Behind Rainbow Formation* (2020). URL: <https://tuitionphysics.com/2016-feb/the-physics-behind-rainbow-formation/> (acesso em 01/08/2020).
- FisMática: Óptica Geométrica - Olho Humano e Anomalias da Visão* (2020). URL: [https://fismatica.com/Fisica/Site/Optica\\_Geometrica/Optica\\_Geometrica\\_Olho\\_Humano.html](https://fismatica.com/Fisica/Site/Optica_Geometrica/Optica_Geometrica_Olho_Humano.html) (acesso em 10/08/2020).
- M. M. Teixeira, *Brasil Escola: Lentes* (2020). URL: <https://brasilestola.uol.com.br/fisica/lentes-1.htm> (acesso em 04/08/2020).
- PNG Fuel* (2020). URL: <https://www.pngfuel.com/free-png/nygjs> (acesso em 19/07/2020).
- Wikimedia Commons: Dispersion (Jibin 1840404 / CC BY-SA (https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0))* (2020). URL: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Dispersions.png> (acesso em 01/08/2020).

## 3 Lista de Problemas

1. (UFSC) A figura abaixo mostra um lápis de comprimento  $AB$ , parcialmente imerso na água e sendo observado por um estudante.



Assinale a(s) proposição(ões) **CORRETA(S)**.

01. O estudante vê o lápis “quebrado” na interface ar-água, porque o índice de refração da água é maior do que o do ar.
02. O feixe luminoso proveniente do ponto  $B$ , ao passar da água para o ar se afasta da normal, sofrendo desvio.
04. O estudante vê o lápis “quebrado” na interface ar-água, sendo o fenômeno explicado pelas leis da reflexão.
08. O observador vê o lápis “quebrado” na interface ar-água porque a luz sofre dispersão ao passar do ar para a água.
16. O ponto  $B'$ , visto pelo observador, é uma imagem virtual.
2. (UFSC) A mãe zelosa de um candidato, preocupada com o nervosismo do filho antes do vestibular, prepara uma receita caseira de “água com açúcar” para acalmá-lo. Sem querer, a mãe faz o filho relembrar alguns conceitos relacionados à luz, quando o mesmo observa a colher no copo com água, como mostrado na figura abaixo.



Sobre o fenômeno apresentado na figura acima, é **CORRETO** afirmar que:

01. a luz tem um comportamento somente de partícula.

02. a velocidade da luz independe do meio em que se propaga.

04. a colher parece quebrada, pois a direção da propagação da luz muda ao se propagar do ar para a água.

08. a velocidade da luz na água e no ar é a mesma.

16. a luz é refratada ao se propagar do ar para a água.

3. (UFSC) Na era da informação, os fenômenos e instrumentos ópticos são de fundamental importância. Desde a construção de aparatos para buscar informações do Cosmo, como telescópios, até a utilização da luz como meio de enviar informações, a óptica é um dos ramos da Física com grande valor para o desenvolvimento do conhecimento humano. Com relação aos fenômenos e instrumentos ópticos, é correto afirmar que:

01. espelho é a denominação dada para qualquer superfície reta que permita a reflexão regular ou especular da luz.

02. quando a luz atinge a fronteira entre dois meios transparentes e homogêneos, ela sofre reflexão, refração e absorção.

04. a cor percebida de um objeto depende da cor da luz incidente sobre o objeto e do pigmento existente nele.

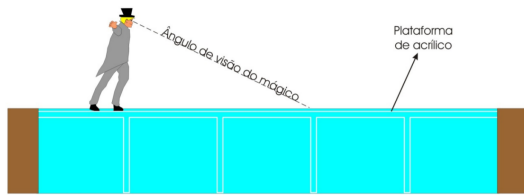
08. uma das leis da reflexão diz que o ângulo de reflexão com a normal é igual ao ângulo de incidência com a normal, mas ela só é aplicável aos espelhos.

16. o arco-íris é consequência somente da reflexão da luz nas gotículas de água dispersas na atmosfera após a chuva.

32. qualquer superfície transparente pode se tornar um espelho, desde que as condições para a reflexão total – ângulo de incidência maior do que o ângulo limite e propagação da luz do meio mais refringente para o menos refringente – sejam respeitadas.

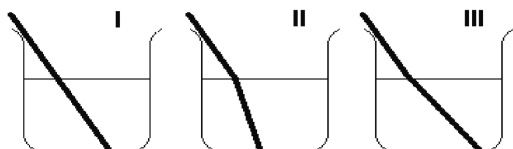
4. (UFSC) No Circo da Física, o show de ilusionismo, no qual o mágico Gafanhoto utiliza fenômenos físicos para realizar o truque, é uma das atrações mais esperadas. Ele caminha sobre as águas de uma piscina, deixando surpresos os espectadores. Mas como ele faz isso? Na verdade, ele caminha sobre uma plataforma de acrílico ( $n = 1,49$ ) que fica imersa alguns centímetros na água ( $n = 1,33$ ), conforme a figura abaixo. O truque está em fazer

a plataforma de acrílico ficar invisível dentro da água colocando-se alguns solutos na água.



Sobre essa situação, é correto afirmar que:

01. por causa das condições em que o truque ocorre, o mágico, ao olhar para o fundo da piscina, como mostra a figura, verá a imagem do fundo da piscina na posição real em que o fundo se encontra.
02. a plataforma de acrílico fica invisível porque o índice de refração da água é maior do que o índice de refração do acrílico.
04. por causa da plataforma de acrílico, a luz não sofre o fenômeno da refração ao passar do ar para a água.
08. nas condições em que o truque acontece, não é possível ocorrer o fenômeno da reflexão total na superfície de separação entre o acrílico e a água.
16. a plataforma de acrílico fica invisível aos olhos porque a luz não sofre o fenômeno da refração ao passar da água para o acrílico.
32. nas condições em que o truque acontece, a razão entre o índice de refração da água e o índice de refração do acrílico é igual a 1.
5. (UDESC) Um bastão é colocado sequencialmente em três recipientes com líquidos diferentes. Olhando-se o bastão através de cada recipiente, observam-se as imagens I, II e III, conforme ilustração abaixo, pois os líquidos são transparentes. Sendo  $n_{ar}$ ,  $n_I$ ,  $n_{II}$  e  $n_{III}$  os índices de refração do ar, do líquido em I, do líquido em II e do líquido em III, respectivamente, a relação que está correta é:



- (a)  $n_{ar} < n_I < n_{II}$   
 (b)  $n_{II} < n_{ar} < n_{III}$   
 (c)  $n_I > n_{II} > n_{III}$   
 (d)  $n_{III} > n_{II} > n_I$   
 (e)  $n_{III} < n_I < n_{II}$

6. (UDESC) Com relação aos fenômenos da reflexão e da refração da luz branca, analise as proposições.

I. A transparência dos vidros é explicada pelos fenômenos de refração e reflexão.

II. A dispersão da luz branca em um prisma de vidro é devida à reflexão na face de incidência do prisma.

III. A luz branca dispersa em um prisma é composta somente pelas cores primárias vermelho, verde e azul.

Assinale a alternativa **correta**.

- (a) Somente as afirmativas II e III são verdadeiras.  
 (b) Somente a afirmativa I é verdadeira.  
 (c) Somente as afirmativas I e II são verdadeiras.  
 (d) Somente a afirmativa III é verdadeira.  
 (e) Todas as afirmativas são verdadeiras.

7. (UDESC) A luz ao atravessar um material altera sua trajetória e sua velocidade. Estas mudanças estão associadas ao fenômeno da refração. Com base na refração da luz, analise as proposições.

I. O índice de refração de um material é obtido pela razão entre a velocidade da luz no vácuo e a velocidade da luz no material, e o seu valor é sempre maior do que 1.

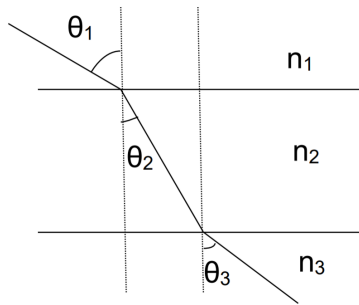
II. A velocidade da luz na água corresponde a um valor aproximado a 75% da velocidade da luz no vácuo.

III. Um raio de luz proveniente do interior de uma piscina se aproxima de uma reta perpendicular à interface ar-água, ao passar da água da piscina para o ar. Isto faz com que um observador externo tenha impressão de que a piscina é mais funda que na realidade.

Assinale a alternativa **correta**.

- (a) Somente as afirmativas II e III são verdadeiras.  
 (b) Somente as afirmativas I e III são verdadeiras.  
 (c) Somente a afirmativa I é verdadeira.  
 (d) Somente as afirmativas I e II são verdadeiras.  
 (e) Todas as afirmativas são verdadeiras.

8. (UDESC) Na Figura, um raio de luz vindo de um meio material (1), de índice de refração  $n_1$ , incide na interface que o separa do meio material (2), de índice de refração  $n_2$ . A seguir, o raio refratado incide na interface que separa os meios materiais (2) e (3), sendo  $n_3$  o índice de refração do meio material (3).



Analise as proposições em relação à óptica geométrica.

- I. Se  $n_1 = n_3$  então  $\theta_1 = \theta_3$
- II. Se  $n_1 > n_2$  então  $\theta_1 > \theta_2$
- III. Se  $n_2 > n_3$  então  $\theta_2 > \theta_3$
- IV. Se  $n_1 > n_2$  então  $\theta_1 < \theta_2$
- V. Se  $n_1 > n_3$  então  $\theta_1 > \theta_3$

Assinale a alternativa **correta**.

- (a) Somente as afirmativas II e III são verdadeiras.
- (a) Somente as afirmativas II e V são verdadeiras.
- (c) Somente as afirmativas III e V são verdadeiras.
- (d) Somente as afirmativas I e II são verdadeiras.
- (e) Somente as afirmativas I e IV são verdadeiras.

9. (UDESC) Com relação às lentes convergentes e às divergentes, analise as proposições.

- I. Para lentes divergentes, a imagem de um objeto é sempre virtual, direita e menor.
- II. Para uma lente convergente, um objeto localizado entre o foco e o centro da lente, a imagem é virtual, direita e maior.
- III. Para uma lente divergente, um objeto localizado entre o centro de curvatura e o foco, a imagem é real, invertida e maior.
- IV. Para lentes convergentes, a imagem de um objeto é sempre real, direita e maior.

Assinale a alternativa **correta**.

- (a) Somente as afirmativas I e III são verdadeiras.
- (b) Somente as afirmativas II e IV são verdadeiras.
- (c) Somente as afirmativas II e III são verdadeiras.
- (d) Somente as afirmativas I, III e IV são verdadeiras.
- (e) Somente as afirmativas I e II são verdadeiras.

10. (UDESC) Considere uma lâmina de vidro de faces paralelas imersas no ar. Um raio luminoso propaga-se no ar e incide em uma das faces da lâmina, segundo um ângulo  $\theta$  em relação à direção normal ao plano da lâmina. O raio é refratado nesta face e refletido na outra face, que é

espelhada. O raio refletido é novamente refratado na face não espelhada, voltando a propagar-se no ar. Sendo  $n_{ar}$  e  $n_{vidro}$ , respectivamente, os índices de refração da luz no ar e no vidro, o ângulo de refração  $\alpha$  que o raio refletido forma no vidro, com a direção normal ao plano da lâmina, ao refratar-se pela segunda vez, obedece à equação:

- (a)  $n_{vidro} \text{ sen } \alpha = n_{ar} \text{ sen } \theta/2$
- (b)  $\alpha = \theta$
- (c)  $\text{sen } \alpha = \text{cos } \theta$
- (d)  $n_{vidro} \text{ sen } \alpha = n_{ar} \text{ sen } \theta$
- (e)  $n_{ar} \text{ sen } \alpha = n_{vidro} \text{ sen } \theta$

11. (PUC) Na figura, a imagem de um livro é observada através de um instrumento óptico.

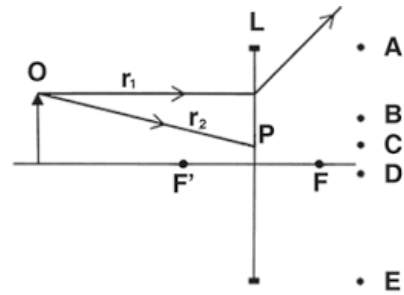
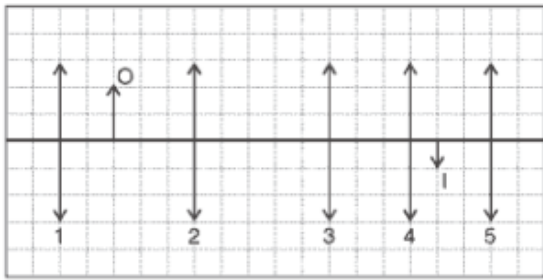


Então ela será:

- (a) real, formada por uma lente divergente, com o objeto (livro) colocado entre o foco objeto e a lente.
- (b) virtual, formada por uma lente convergente, com o objeto (livro) colocado entre o foco objeto e a lente.
- (c) virtual, formada por uma lente divergente, com o objeto (livro) colocado entre o foco objeto e a lente.
- (d) real, formada por uma lente convergente, com o objeto (livro) colocado entre o foco objeto e o ponto anti-principal objeto da lente.
- (e) virtual, formada por uma lente convergente, com o objeto (livro) colocado sobre o foco objeto da lente.

12. (UNESP) Considere as cinco posições de uma lente convergente, apresentadas na figura.





A única posição em que essa lente, se tiver a distância focal adequada, poderia formar a imagem real I do objeto O, indicados na figura, é a identificada pelo número:

- (a) 1
- (b) 2
- (c) 3
- (d) 4
- (e) 5

13. (UEL) Com a finalidade de caracterizar uma lente convergente, um aluno colocou-a perpendicularmente aos raios solares, verificando a formação de uma imagem nítida do Sol a 0,40 m da lente. A convergência dessa lentes, em dioptrias, vale:

- (a) 4,0
- (b) 2,5
- (c) 1,6
- (d) 0,80
- (e) 0,40

14. (UFLA) Um objeto real que se encontra a uma distância de 25 cm de uma lente esférica delgada divergente, cuja distância focal é, em valor absoluto, também de 25 cm,

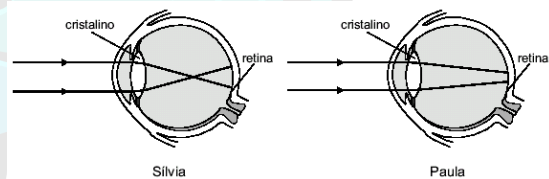
- (a) não fornecerá imagem.
- (b) terá uma imagem real, invertida e do mesmo tamanho do objeto, a 25 cm da lente.
- (c) terá uma imagem real, invertida e ampliada, a 12,5 cm da lente.
- (d) terá uma imagem virtual, direita e ampliada, a 25 cm do objeto.
- (e) terá uma imagem virtual, direita e reduzida, a 12,5 cm do objeto.

15. (UFRGS) Na figura adiante,  $L$  representa uma lente esférica de vidro, imersa no ar, e a seta  $O$  um objeto real colocado diante da lente. Os segmentos de reta  $r_1$  e  $r_2$  representam dois dos infinitos raios de luz que atingem a lente, provenientes do objeto.

Os pontos sobre o eixo óptico representam os focos  $F$  e  $F'$  da lente. Qual das alternativas indica um segmento de reta que representa a direção do raio  $r$ , após ser refratado na lente?

- (a) PA
- (b) PB
- (c) PC
- (d) PD
- (e) PE

16. (UFMG) Após examinar os olhos de Sílvia e de Paula, o oftalmologista apresenta suas conclusões a respeito da formação de imagens nos olhos de cada uma delas, na forma de diagramas esquemáticos, como mostrado nestas figuras:



Com base nas informações contidas nessas figuras, é **CORRETO** afirmar que:

- (a) apenas Sílvia precisa corrigir a visão e, para isso, deve usar lentes divergentes.
- (b) ambas precisam corrigir a visão e, para isso, Sílvia deve usar lentes convergentes e Paula, lentes divergentes.
- (c) apenas Paula precisa corrigir a visão e, para isso, deve usar lentes convergentes.
- (d) ambas precisam corrigir a visão e, para isso, Sílvia deve usar lentes divergentes e Paula, lentes convergentes.

17. (UFPEL) O olho humano é um sofisticado sistema óptico que pode sofrer pequenas variações na sua estrutura, ocasionando os defeitos da visão.

Com base em seus conhecimentos, analise as afirmativas a seguir.

I. No olho míope, a imagem nítida se forma atrás da retina, e esse defeito da visão é corrigido

usando uma lente divergente.

**II.** No olho com hipermetropia, a imagem nítida se forma atrás da retina, e esse defeito da visão é corrigido usando uma lente convergente.

**III.** No olho com astigmatismo, que consiste na perda da focalização em determinadas direções, a sua correção é feita com lentes cilíndricas.

**IV.** No olho com presbiopia, ocorre uma dificuldade de acomodação do cristalino, e esse defeito da visão é corrigido mediante o uso de uma lente divergente.

Está(ão) correta(s) apenas a(s) afirmativa(s).

- (a) I e II
- (b) III
- (c) II e IV
- (d) II e III
- (e) I e IV

## 4 Gabarito

1. Soma dos itens corretos: 19. Item 01: Correto. Item 02: Correto. Item 04: Incorreto. Item 08: Incorreto. Item 16: Correto.
2. Soma dos itens corretos: 20. Item 01: Incorreto. Item 02: Incorreto. Item 04: Correto. Item 08: Incorreto. Item 16: Correto.
3. Soma dos itens corretos: 38. Item 01: Incorreto. Item 02: Correto. Item 04: Correto. Item 08: Incorreto. Item 16: Incorreto. Item 32: Correto.
4. Soma dos itens corretos: 56. Item 01: Incorreto. Item 02: Incorreto. Item 04: Incorreto. Item 08: Correto. Item 16: Correto. Item 32: Correto.
5. Item (e):  $n_{III} < n_I < n_{II}$ .
6. Item (b): Somente a afirmativa I é verdadeira.
7. Item (d): Somente as afirmativas I e II são verdadeiras.
8. Item (e): Somente as afirmativas I e IV são verdadeiras.
9. Item (e) Somente as afirmativas I e II são verdadeiras.
10. Item (b):  $\alpha = \theta$ .
11. Item (b): virtual, formada por uma lente convergente, com o objeto (livro) colocado entre o foco objeto e a lente.
12. Item (c): 3.
13. Item (b): 2,5.
14. Item (e): terá uma imagem virtual, direita e reduzida, a 12,5 cm do objeto.
15. Item (c) PC.
16. Item (d): ambas precisam corrigir a visão e, para isso, Sílvia deve usar lentes divergentes e Paula, lentes convergentes.
17. Item (d): II e III.