

## FÍSICA

### Termologia - Módulos

- 9 – Mudanças de estado I
- 10 – Mudanças de estado II
- 11 – Mudanças de estado III
- 12 – Mudanças de estado IV: balanço energético
- 13 – Condução de calor
- 14 – Convecção térmica
- 15 – Radiação térmica
- 16 – Transmissão de calor – Aplicações



A cozinha é o principal laboratório da vida cotidiana para a análise de fenômenos térmicos.

### Módulo

### 9

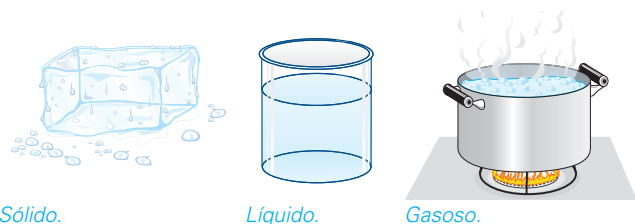
## Mudanças de estado I

### Palavras-chave:

- Temperatura constante
- Mudança de fase •  $Q = mL$

## 1. Estados físicos da matéria

A matéria pode apresentar-se nos estados sólido, líquido e gasoso. Estes estados se distinguem principalmente pelas seguintes propriedades:



Sólido.

Líquido.

Gasoso.

**Sólido:** possui forma própria e volume bem definido.

**Líquido:** não possui forma própria; assume a forma do recipiente que o contém, mas possui volume bem definido.

**Gás (ou vapor):** não possui forma própria nem volume definido. Toma a forma e o volume do recipiente que o contém.

Observemos que em nosso estudo estaremos referindo-nos sempre a substâncias puras.

## 2. Definições

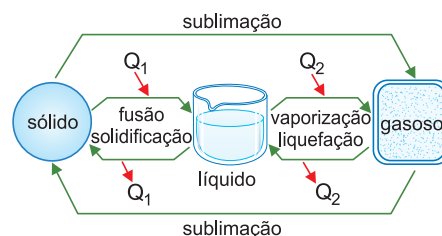
**Fusão** é a passagem de uma substância do estado **sólido** para o estado **líquido**.

**Solidificação** é a passagem do estado **líquido** para o estado **sólido**. É a transformação inversa da fusão.

**Vaporização** é a passagem de uma substância do estado **líquido** para o estado **gasoso**.

**Liquefação** ou **condensação** é a passagem do estado **gasoso** para o estado **líquido**. É a transformação inversa da **vaporização**.

**Sublimação** é a passagem da substância diretamente do estado **sólido** para o **gasoso** ou do estado **gasoso** para o **sólido**.



A experiência mostra que a fusão e a vaporização se processam sempre com recebimento (absorção) de calor, sendo, pois, transformações **endotérmicas**. Já a solidificação e a liquefação se processam com desprendimento (liberação) de calor, sendo, pois, transformações **exotérmicas**.

Observemos que a quantidade de calor que um corpo recebe ao fundir-se é a mesma que ele cede ao solidificar-se (princípio da transformação inversa). Da mesma forma, o que recebe ao vaporizar-se cede ao liquefazer-se.

### 3. Temperatura de mudança de estado

A fusão e a solidificação de uma substância se processam na mesma temperatura, chamada **temperatura (ou ponto) de fusão** ou de **solidificação** ( $\theta_F$ ). Por exemplo, a água, sob pressão atmosférica normal, sempre se funde e se solidifica a  $0^\circ\text{C}$ .

A ebulição e a liquefação de uma substância se processam na mesma temperatura, chamada **temperatura (ou ponto) de ebulição** ou de **liquefação** ( $\theta_E$ ). Por exemplo, sob pressão atmosférica normal, a água entra em ebulição e se liquefaz a  $100^\circ\text{C}$ .

### 4. Cálculo da quantidade de calor latente

Seja **Q** a quantidade de calor latente necessária para

provocar uma dada mudança de estado na massa **m** de uma substância, sem variação de temperatura.

Verifica-se experimentalmente que **Q** é proporcional à massa **m**, podendo-se, pois, escrever:

$$Q = m L$$

sendo **L** um coeficiente de proporcionalidade chamado **calor específico latente** da referida mudança de estado da substância.

Observemos que o calor específico latente de fusão e de solidificação é o mesmo, porque a quantidade de calor que um corpo recebe para se fundir é igual à que cede ao solidificar-se. Tal processo ocorre também com o calor específico latente de vaporização e de liquefação.



Aqui, o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) está sublimando, passando do estado sólido para o estado gasoso.

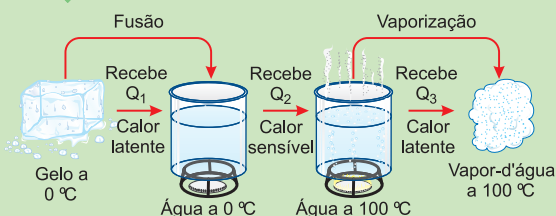


O aço ao ser aquecido a altas temperaturas sofre fusão, passando do estado sólido para o estado líquido.



#### Aplicação

#### AQUECIMENTO DA ÁGUA



Vamos utilizar uma massa **m** de gelo a  $0^\circ\text{C}$  e vaporizá-la completamente. A sequência das transformações é representada ao lado. Considerando que não houve perdas, o calor recebido pelo sistema é:  $Q_{\text{total}} = Q_1 + Q_2 + Q_3$

Substituindo pelas fórmulas de calor sensível e calor latente, temos:  $Q_{\text{total}} = (mL_F)_{\text{gelo}} + (mc\Delta\theta)_{\text{água}} + (mL_V)_{\text{água}}$

### Exercícios Resolvidos

**1 (UNESP-SP-MODELO ENEM)** – Nos quadrinhos da tira, a mãe menciona as fases da água conforme a mudança das estações.

**ROSE IS ROSE/Pat Brady.**



Entendendo “boneco de neve” como sendo “boneco de gelo” e que com o termo “evaporou” a mãe se refira à transição água → vapor, pode-se supor que ela imaginou a sequência gelo → água → vapor → água.

As mudanças de estado que ocorrem nessa sequência são

- a) fusão, sublimação e condensação.
- b) fusão, vaporização e condensação.
- c) sublimação, vaporização e condensação.
- d) condensação, vaporização e fusão.
- e) fusão, vaporização e sublimação.

#### Resolução

Na sequência, temos

gelo → água: fusão

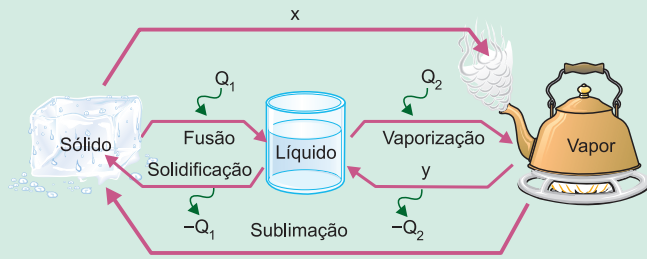
água → vapor: vaporização

vapor → água: liquefação ou condensação

**Resposta: B**

(MODELO ENEM) – Enunciado para os testes 2 e 3.

Um professor, ao desenvolver o assunto “Mudanças de Estado”, montou o seguinte esquema:



2 As letras X e Y podem ser substituídas, respectivamente, pelas palavras

- a) liquefação e evaporação.
- b) sublimação e liquefação.
- c) evaporação e calefação.
- d) ebulição e liquefação.
- e) sublimação e calefação.

Resposta: B

3 Assinale a alternativa correta:

- a)  $-Q_1$  indica que a solidificação é uma transformação exotérmica.
- b)  $Q_1$  indica que a fusão é uma transformação exotérmica.
- c)  $Q_2$  indica que a vaporização é uma transformação que libera calor.
- d)  $-Q_2$  indica uma transformação com absorção de calor.
- e) X é uma transformação exotérmica.

Resposta: A

## Exercícios Propostos

1 Qual a quantidade de calor necessária para transformar 20g de gelo a 0°C em vapor-d’água a 100°C?

Dados:

calor específico latente de fusão do gelo:  $L_F = 80 \text{ cal/g}$ .

calor específico sensível da água:  $c = 1,0 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$ .

calor específico latente de vaporização da água:  $L_V = 540 \text{ cal/g}$ .

RESOLUÇÃO:

$$Q_{\text{TOTAL}} = mL_f + (mc\Delta\theta)_{\text{água do gelo}} + mL_v$$

$$Q_{\text{TOTAL}} = 20 \cdot 80 + 20 \cdot 1,0 \cdot 100 + 20 \cdot 540 \text{ (cal)}$$

$$Q_{\text{TOTAL}} = 1,44 \cdot 10^4 \text{ cal} \Rightarrow Q_{\text{TOTAL}} = 14,4 \text{ kcal}$$

2 (MACKENZIE-SP) – A quantidade de calor necessária para que uma unidade de massa de uma substância mude de estado de agregação molecular é chamada calor latente de transformação. No caso da fusão, temos o calor latente de fusão ( $L_f$ ) e, no caso da solidificação, temos o calor latente de solidificação ( $L_s$ ). Considerando uma certa substância, sempre num mesmo ambiente, podemos afirmar que:

- a)  $|L_f| > |L_s|$
- b)  $|L_s| > |L_f|$
- c)  $L_s = \frac{L_f}{2}$
- d)  $L_f = 2 \cdot L_s$
- e)  $L_s = -L_f$

Resposta: E

3 (MODELO ENEM)

Tabela de Calor Específico Latente de Fusão e Vaporização

Substância	Calor Específico Latente de Fusão (cal/g)	Calor Específico Latente de Vaporização (cal/g)
Água	80	540
Hidrogênio	14	110
Oxigênio	3,3	51
Mercúrio	3,0	68
Nitrogênio	3,0	48

Todos os valores foram tomados à pressão normal.

Com base nos dados apresentados, analise as proposições a seguir.

- 01) Do ponto de vista energético, é mais fácil desagregar as moléculas de substâncias no estado líquido do que as moléculas de substâncias no estado sólido.
  - 02) Para vaporizar 2,0g de água, são necessárias 1080cal, à temperatura de 100°C.
  - 04) Se 2,0g de água a 25°C absorverem 1080cal, toda a massa líquida transformar-se-á em vapor.
  - 08) Num copo com água a 20°C, é colocada uma pedra de gelo a 0°C. Desprezadas as perdas de calor para o ambiente, cada 1,0g de gelo que se funde retira 80cal da água.
- Dê como resposta a soma das corretas.

RESOLUÇÃO:

01) INCORRETA. Os calores específicos latentes de vaporização são maiores que os de fusão.

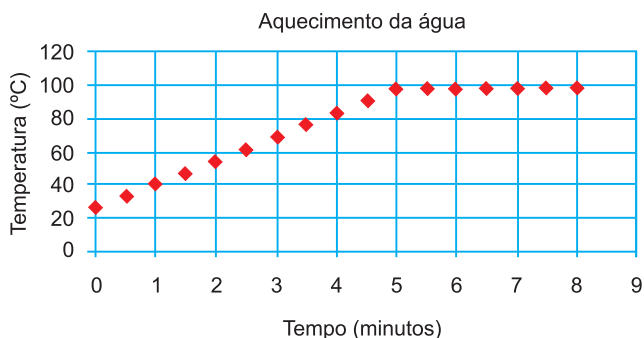
02) CORRETA.  $Q = mL_v \Rightarrow Q = 2,0 \cdot 540 \Rightarrow Q = 1080 \text{ cal}$

04) INCORRETA. Além das 1080 cal para vaporizar a água, é necessário um calor sensível para levá-la de 25°C para 100°C.

08) CORRETA.  $Q = mL_f = 1,0 \cdot 80 \Rightarrow Q = 80 \text{ cal}$

Resposta: 10

4 (UFMG-MODELO ENEM) – No laboratório do colégio, um grupo de alunos fez um experimento sobre o aquecimento da água. Os estudantes colocaram meio litro de água pura numa panela de alumínio e aqueceram-na em um fogão a gás com chama constante. Mediram a temperatura da água a cada 0,5 minuto, usando um termômetro que mede temperaturas entre 0°C e 150°C. Representaram as medidas encontradas em um gráfico parecido com este:



Os alunos ficaram surpresos com o fato de que a temperatura da água, após 5 minutos de aquecimento, não aumentava mais.

Assinale a explicação correta do fenômeno, que ocorre com a água após 5 minutos de aquecimento.

- A água fica com sua capacidade calorífica saturada e não recebe mais calor, mantendo a sua temperatura constante.
- A temperatura da água se iguala à temperatura da chama e se mantém constante.
- O aumento de temperatura da água continua, mas não é detectado pelo termômetro.
- O calor recebido se transforma em energia envolvida na mudança de estado da água, mantendo a sua temperatura constante.
- O aumento da potência da fonte térmica não altera o gráfico.

#### RESOLUÇÃO:

a) FALSA.

Após 5 min de aquecimento, a água continua recebendo calor, que será armazenado como energia potencial de agregação, provocando mudança no estado físico. A água passa para o estado gasoso.

b) FALSA.

A temperatura da chama é superior a 100°C.

c) FALSA.

d) CORRETA.

e) FALSA. O tempo de aquecimento diminui.

Resposta: D

## Módulo

# 10

## Mudanças de estado II

### Palavras-chave:

- Pressão • Altitude
- Aumento da altitude, diminuição da pressão e do ponto de ebulição

## 1. Leis gerais das mudanças de estado

Para substâncias puras, as mudanças de estado obedecem às seguintes leis:

### 1ª LEI

*“Se durante uma mudança de estado a pressão se mantiver constante, a temperatura também permanecerá constante.”*

Esta lei nos permite concluir que enquanto há mudança de estado não há variação de temperatura e, consequentemente, enquanto há variação de temperatura não há mudança de estado. Ou seja, a mudança de estado e a variação de temperatura jamais ocorrem simultaneamente se a pressão se mantiver invariável.

### 2ª LEI

*“Para uma dada pressão, cada substância pura tem fixa a sua temperatura de fusão (ou de solidificação) e a sua temperatura de ebulição (ou de liquefação).”*

Esta lei nos ensina que as temperaturas de fusão ( $\theta_F$ ) e de ebulição ( $\theta_E$ ), numa dada pressão, são características das substâncias.

Por exemplo, sob pressão normal, temos:

água:  $\theta_F = 0^\circ\text{C}$  e  $\theta_E = 100^\circ\text{C}$

álcool:  $\theta_F = -114^\circ\text{C}$  e  $\theta_E = 78^\circ\text{C}$

mercúrio:  $\theta_F = -39^\circ\text{C}$  e  $\theta_E = 357^\circ\text{C}$

oxigênio:  $\theta_F = -218^\circ\text{C}$  e  $\theta_E = -183^\circ\text{C}$

### 3ª LEI

*“Variando a pressão, as temperaturas de fusão e de ebulição também variam.”*

Por exemplo, em Santos, onde a pressão atmosférica é normal, a água ferve a 100°C. Em São Paulo, onde a pressão atmosférica é da ordem de 700mm de Hg, a água ferve a 98°C, aproximadamente. Em Brasília, que se encontra a 1152m de altitude, a água entra em ebulição a 96°C. No Monte Everest, a 8882m de altitude, a água ferve a 75°C.

## Física experimental

Enche-se uma seringa com pequena quantidade de água destilada a uma temperatura um pouco abaixo da temperatura de ebulição. Fechando-se o bico, como mostra a figura A, e puxando rapidamente o êmbolo, verifica-se que a água entra em ebulição durante alguns instantes (veja figura B).

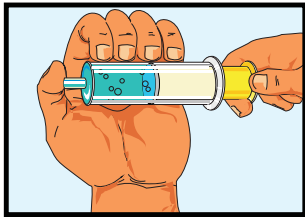


Figura A

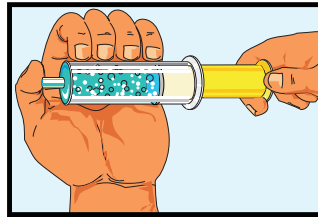
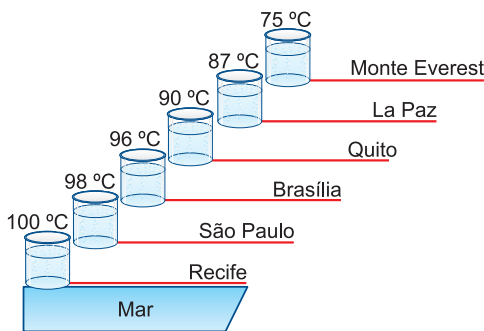


Figura B

Podemos explicar este fenômeno considerando que, com a diminuição da pressão, a temperatura de ebulição da água fica menor do que a temperatura da água na seringa.

## Influência da altitude na variação do ponto de ebulição



A temperatura de ebulição de um líquido depende da pressão. Quanto maior a altitude, menor é a pressão e menor é a temperatura de ebulição.

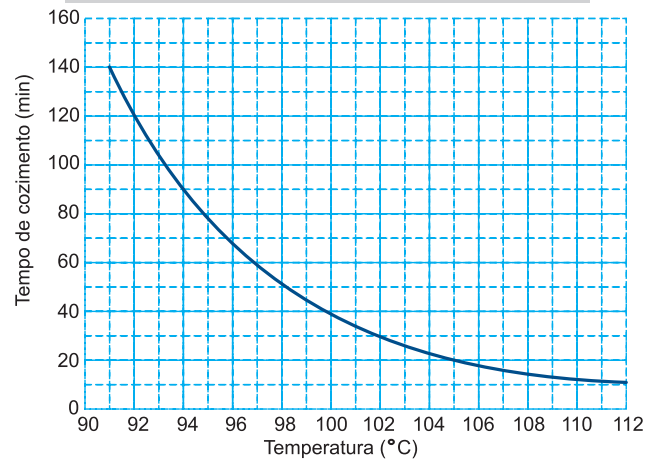
No Rio de Janeiro (no nível do mar), uma certa quantidade de feijão demora 40 minutos em água fervente para ficar pronta. A tabela a seguir fornece o valor da temperatura de fervura da água em função da pressão atmosférica, enquanto o gráfico fornece o tempo de

cozimento dessa quantidade de feijão em função da temperatura. A pressão atmosférica ao nível do mar vale 760mm de mercúrio e ela diminui 10mm de mercúrio para cada 100m de altitude.

### Temperatura de fervura da água em função da pressão

Pressão em mm de Hg	600	640	680	720	760	800	840	880	920	960	1000	1040
Temperatura em °C	94	95	97	98	100	102	103	105	106	108	109	110

### Tempo de cozimento versus temperatura



Com base nessas informações, é possível concluir que:

I. No Mar Morto, que se encontra a 400m abaixo do nível do mar, a pressão seria de 800mm de Hg (760 + 40) que, na tabela, corresponde a 102°C e a um tempo de 30 minutos de cozimento no gráfico.

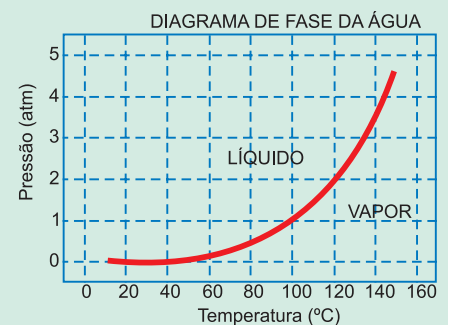
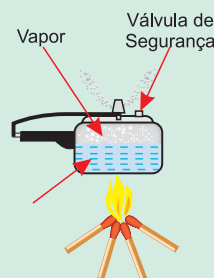
II. Num local a 800m de altitude, a pressão é de 680mmHg (760 – 80), a temperatura de ebulição vale 97°C e o tempo de cozimento, 60 min.

III. Uma panela de pressão, cuja válvula mantém a pressão interna a 1,37 atm (1,37 atm = 1,37 · 760 ≅ 1040mm Hg), cozinha o feijão a 110°C em cerca de 12 minutos.

## Exercícios Resolvidos

**1 (ENEM)** – A panela de pressão permite que os alimentos sejam cozidos em água muito mais rapidamente do que em panelas convencionais. Sua tampa possui uma borracha de vedação que não deixa o vapor escapar, a não ser através de um orifício central sobre o qual assenta um peso que controla a pressão. Quando em uso, desenvolve-se uma pressão elevada no seu interior. Para a sua operação segura, é necessário observar a limpeza do orifício central e a existência de uma válvula de segurança, normalmente situada na tampa.

O esquema da panela de pressão e um diagrama de fase da água são apresentados a seguir.



A vantagem do uso de panela de pressão é a rapidez para o cozimento de alimentos e isto se deve

- à pressão no seu interior, que é igual à pressão externa.
- à temperatura de seu interior, que está acima da temperatura de ebulição da água no local.
- à quantidade de calor adicional que é transferida à panela.
- à quantidade de vapor que está sendo liberada pela válvula.
- à espessura da sua parede, que é maior que a das panelas comuns.

**Resolução**

De acordo com o gráfico dado, quanto maior a

pressão a que está submetido o líquido, maior será a sua temperatura de ebulição.

Na panela de pressão, a pressão em seu interior é maior do que a externa, isso faz com que o líquido ferva a uma temperatura maior do que quando exposto à atmosfera.

O aumento da temperatura de ebulição ocasiona o cozimento mais rápido dos alimentos.

**Resposta: B**

**2 (ENEM)** – Se, por economia, abaxarmos o fogo sob uma panela de pressão logo que se inicia a saída de vapor pela válvula, de forma simplesmente a manter a fervura, o tempo de cozimento

- será maior porque a panela "esfria".
- será menor, pois diminui a perda de água.
- será maior, pois a pressão diminui.
- será maior, pois a evaporação diminui.
- não será alterado, pois a temperatura não varia.

**Resolução**

A válvula mantém no interior da panela uma pressão constante. Enquanto a pressão se mantiver constante, a temperatura de ebulição da água não se alterará, portanto o tempo de cozimento dos alimentos também não se alterará.

**Resposta: E**

## Exercícios Propostos

**1 (VUNESP-MODELO ENEM)** – Aquece-se certa quantidade de água. A temperatura em que irá ferver depende da

- temperatura inicial da água
- massa da água.
- pressão ambiente.
- rapidez com que o calor é fornecido.
- quantidade total do calor fornecido.

**Resposta: C**

**2 (MODELO ENEM)** – O funcionamento de uma panela de pressão está baseado no fato

- de a temperatura de ebulição da água independer da pressão.
- de a temperatura de ebulição da água aumentar quando a pressão aumenta.
- de a temperatura de ebulição da água diminuir quando a pressão aumenta.
- de a temperatura de ebulição da água manter-se constante com a variação da pressão atmosférica.

**Resposta: B**

**3 (CPCAr)** – Dados:

calor específico sensível do gelo = 0,50 cal/g°C  
 calor específico sensível da água = 1,0 cal/g°C  
 calor específico sensível do vapor-d'água = 0,50 cal/g°C  
 calor específico latente de fusão do gelo = 80 cal/g  
 calor específico latente de vaporização da água = 540 cal/g  
 Qual quantidade de calor, em calorías, deve ser usada para elevar a temperatura de um bloco de gelo, de 10g, de -10°C para 110°C?

- 1100
- 2720
- 3740
- 7000
- 7300

**RESOLUÇÃO:**

$$Q = (mc\Delta\theta)_{\text{gelo}} + (mL)_{\text{fusão}} + (mc\Delta\theta)_{\text{água}} + (mL)_{\text{vaporização}} + (mc\Delta\theta)_{\text{vapor}}$$

$$Q = 10 \cdot 0,50 \cdot [0 - (-10)] + 10 \cdot 80 + 10 \cdot 1,0 \cdot (100 - 0) + 10 \cdot 540 + 10 \cdot 0,50 \cdot (110 - 100)$$

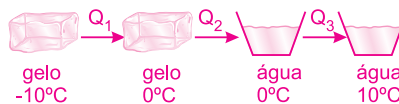
$$Q = 50 + 800 + 1000 + 5400 + 50 \Rightarrow \boxed{Q = 7300\text{cal}}$$

**Resposta: E**

**4 (UNIP-SP)** – São dados:

- calor específico sensível do gelo: 0,50 cal/g°C
  - calor específico latente de fusão do gelo: 80 cal/g
  - calor específico sensível da água: 1,0 cal/g°C
- Qual a quantidade de calor necessária e suficiente para transformar um bloco de gelo de massa 100g, à temperatura de -10°C, em água à temperatura de 10°C?
- $1,5 \cdot 10^3$  cal
  - $8,0 \cdot 10^3$  cal
  - $8,5 \cdot 10^3$  cal
  - $9,0 \cdot 10^3$  cal
  - $9,5 \cdot 10^3$  cal

**RESOLUÇÃO:**



**Q<sub>1</sub> (calor sensível)**

$$Q_1 = (m c\Delta\theta)_{\text{gelo}} = 100 \cdot 0,50 \cdot [0 - (-10)] \text{ (cal)} \Rightarrow Q_1 = 500\text{cal}$$

**Q<sub>2</sub> (calor latente)**

$$Q_2 = (mL)_{\text{gelo}} = 100 \cdot 80 \text{ (cal)} \Rightarrow Q_2 = 8000\text{cal}$$

**Q<sub>3</sub> (calor sensível)**

$$Q_3 = (m c\Delta\theta)_{\text{água}} = 100 \cdot 1,0 \cdot (10 - 0) \text{ (cal)}$$

$$Q_3 = 1000\text{cal}$$

$$\text{Portanto: } Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 \Rightarrow Q = 500 + 8000 + 1000 \text{ (cal)}$$

$$\boxed{Q = 9500\text{cal} = 9,5 \cdot 10^3\text{cal}}$$

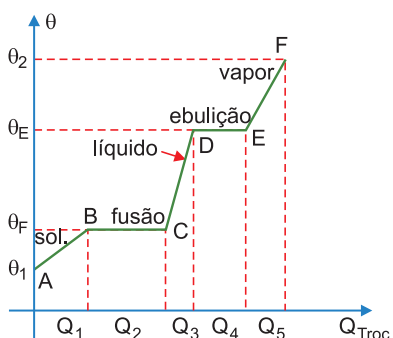
**Resposta: E**

- Calor trocado
- Dois efeitos •  $Q = \text{Pot} \cdot \Delta t$

## 1. Curvas de aquecimento e de resfriamento

São as curvas que se obtêm construindo num diagrama cartesiano o gráfico da temperatura de um corpo em função da quantidade de calor trocada (recebida ou cedida) por ele.

Consideremos, por exemplo, um corpo de massa  $m$  de uma substância cujas temperaturas de fusão e de ebulição são, respectivamente,  $\theta_F$  e  $\theta_E$ . Seja  $\theta_1$  ( $\theta_1 < \theta_F$ ) a temperatura inicial deste corpo. Como  $\theta_1 < \theta_F$ , concluímos que inicialmente o corpo se encontra no estado sólido (ponto A). Fornecendo-se calor ao corpo, ele se aquece, mantendo-se sólido até a temperatura de fusão (ponto B). A partir daí, à medida que continua recebendo calor, o corpo se funde e a sua temperatura se mantém constante (patamar BC).



Só depois de totalmente fundido (ponto C) é que o corpo (agora no estado líquido) vai aquecer-se, permanecendo líquido até a temperatura de ebulição (ponto D). Durante a ebulição a temperatura se mantém constante (patamar DE) e só após completada a vaporização (ponto E) é que o vapor vai aquecer-se (trecho EF) até  $\theta_2$ .

É sempre bom lembrar que essa curva com patamares só ocorre para substâncias puras. Para as demais substâncias, há rampas no lugar dos patamares.

As quantidades de calor recebidas pelo corpo para o aquecimento podem ser assim calculadas:

$$\begin{aligned} Q_1 &= m c_{\text{sólido}} (\theta_F - \theta_1) & Q_2 &= m L_F \\ Q_3 &= m c_{\text{líquido}} (\theta_E - \theta_F) & Q_4 &= m L_V \\ Q_5 &= m c_{\text{vapor}} (\theta_2 - \theta_E) \end{aligned}$$

A curva de resfriamento é obtida de maneira análoga, bastando considerar as transformações inversas daquelas que aparecem na curva do aquecimento.

Lembre-se de que  $L_F$  (calor específico latente de fusão) e  $L_S$  (calor específico latente de solidificação) são iguais em valor absoluto, porém de sinais opostos. Assim:

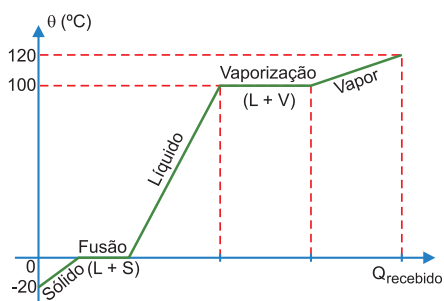
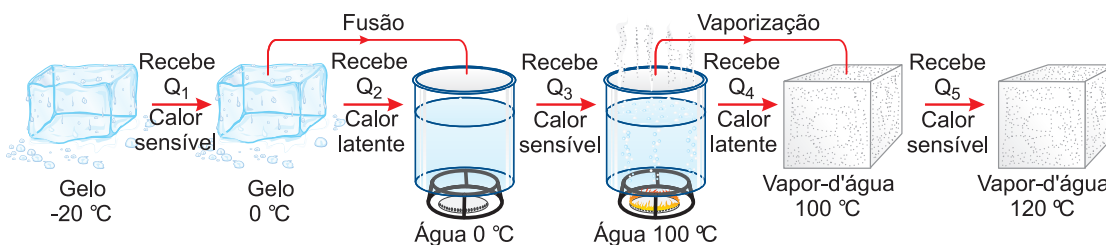
$$L_F = -L_S$$

O mesmo ocorre com  $L_V$  (calor específico latente de vaporização) e  $L_L$  (calor específico latente de liquefação), valendo:

$$L_V = -L_L$$

## 2. Aquecimento da água

Vamos utilizar uma massa  $m$  de gelo a  $-20^\circ\text{C}$  e aquecê-la até  $120^\circ\text{C}$ , por exemplo. A sequência das transformações é representada no esquema a seguir:



Considerando que não houve perdas, o calor total recebido pelo sistema é dado por:

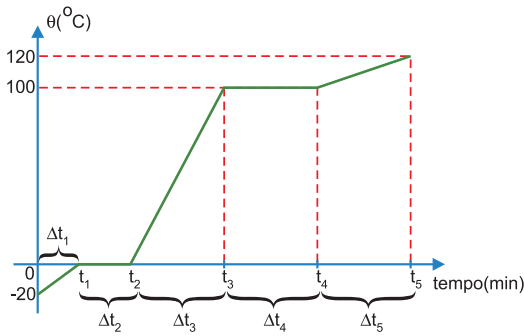
$$Q_{\text{total}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5$$

em que, substituindo pelas fórmulas de calor sensível e calor latente, temos:

$$Q_{\text{total}} = (m c \Delta\theta)_{\text{gelo}} + (m L_F)_{\text{gelo}} + (m c \Delta\theta)_{\text{água}} + (m L_V)_{\text{água}} + (m c \Delta\theta)_{\text{vapor}}$$

Graficamente, o aquecimento do gelo é representado pelo diagrama ao lado.

É possível relacionar a situação descrita na página anterior com o tempo de aquecimento. Se a potência (Pot) da fonte térmica for constante, podemos construir a curva de aquecimento da seguinte maneira.

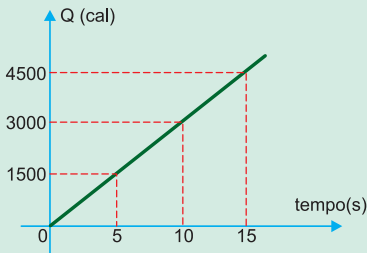


$$Pot = \frac{Q_{total}}{\Delta t_{total}} = \frac{Q_1}{\Delta t_1} = \frac{Q_2}{\Delta t_2} = \frac{Q_3}{\Delta t_3} = \frac{Q_4}{\Delta t_4} = \frac{Q_5}{\Delta t_5}$$

Q	Pot	Δt
joule (J)	watt (W)	segundo (s)
cal	cal/min	min

## Exercícios Resolvidos

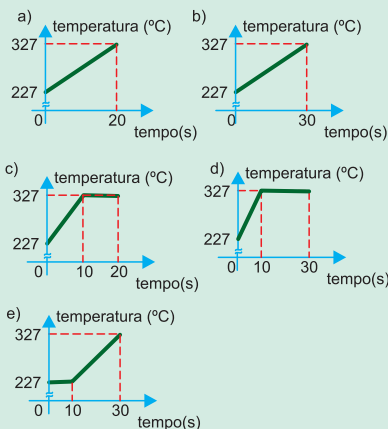
**1 (PUC-SP)** – Um bloco de chumbo de massa 1,0kg, inicialmente a 227°C, é colocado em contato com uma fonte térmica de potência constante. O gráfico mostra como varia a quantidade de calor absorvida pelo bloco em função do tempo.



Considere para o chumbo:

- calor específico latente de fusão: 6,0 cal/g
- temperatura de fusão: 327°C
- calor específico sensível no estado sólido:  $c = 0,03 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$

O bloco de chumbo é aquecido até que ocorra sua fusão completa. O gráfico da temperatura em função do tempo, que descreve o processo sofrido pelo chumbo, é



### Resolução

- 1) No aquecimento do bloco até a temperatura de fusão, temos
- $$Pot \Delta t = mc \Delta \theta$$
- Mas, do gráfico, vem:

$$Pot = \frac{Q}{\Delta t} = \frac{3000 \text{ (cal)}}{10 \text{ (s)}}$$

$$Pot = 300 \text{ cal/s}$$

Assim:

$$300 \cdot \Delta t_1 = 1000 \cdot 0,03 \cdot (327 - 227)$$

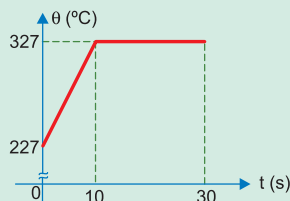
$$\Delta t_2 = 10 \text{ s}$$

2) Na fusão total do bloco, temos

$$Pot \cdot \Delta t = m \cdot L \Rightarrow 300 \cdot \Delta t_2 = 1000 \cdot 6,0$$

$$\Delta t_2 = 20 \text{ s}$$

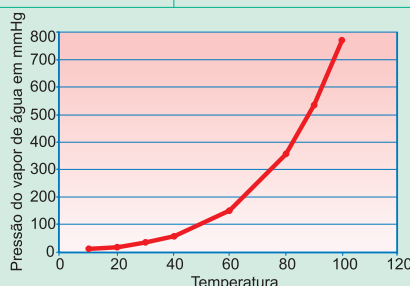
O gráfico desse aquecimento é expresso por



**Resposta: D**

**2 (ENEM)** – A tabela a seguir registra a pressão atmosférica em diferentes altitudes, e o gráfico relaciona a pressão de vapor da água em função da temperatura.

Altitude (km)	Pressão atmosférica (mm Hg)
0	760
1	600
2	480
4	300
6	170
8	120
10	100



Um líquido, num frasco aberto, entra em ebulição a partir do momento em que a sua pressão de vapor se iguala à pressão atmosférica. Assinale a opção correta, considerando a tabela, o gráfico e os dados apresentados, sobre as seguintes cidades:

Natal (RN)	nível do mar
Campos do Jordão (SP)	altitude 1628 m
Pico da Neblina (RR)	altitude 3014 m

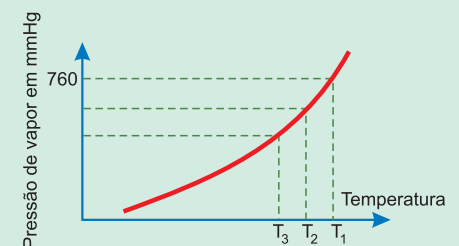
A temperatura de ebulição será

- maior em Campos do Jordão.
- menor em Natal.
- menor no Pico da Neblina.
- igual em Campos do Jordão e Natal.
- não dependerá da altitude.

### Resolução

Em um frasco aberto, um líquido entra em ebulição quando a sua pressão de vapor se iguala à pressão atmosférica. Aumentando a altitude, a pressão atmosférica diminui e, conseqüentemente, a temperatura de ebulição diminui.

Esquematizando, temos:



$T_1$ : temperatura de ebulição do líquido em Natal

$T_2$ : temperatura de ebulição do líquido em Campos do Jordão

$T_3$ : temperatura de ebulição do líquido no Pico da Neblina

$$T_1 > T_2 > T_3$$

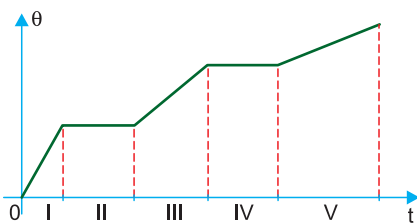
A temperatura de ebulição do líquido será menor no Pico da Neblina.

**Resposta: C**



## Exercícios Propostos

- 1 (UNIP-SP)** – Um corpo, feito de material homogêneo, inicialmente no estado sólido, está recebendo calor e sua temperatura  $\theta$  varia com o tempo  $t$ , de acordo com o gráfico a seguir.



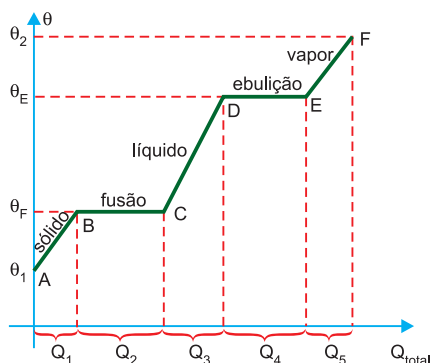
O processo de fusão ocorre no intervalo de tempo indicado por  
a) I      b) II      c) III      d) IV      e) V

### RESOLUÇÃO:

A fusão é representada pelo primeiro patamar (II).

Resposta: B

- 2 (MODELO ENEM)** – O gráfico a seguir representa a curva de aquecimento de uma amostra de substância pura:

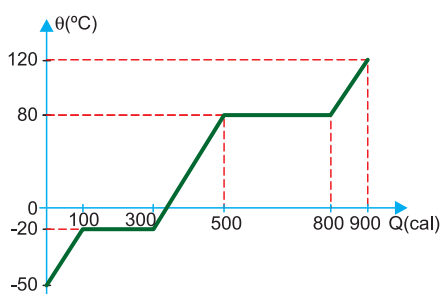


Com base nos dados fornecidos pela curva de aquecimento apresentada, assinale a alternativa correta:

- O calor  $Q_2$  é sensível.
- Nas mudanças de estado, a temperatura varia.
- O calor  $Q_1$  é latente.
- Entre os pontos C e D, ocorre uma mudança de estado.
- O calor necessário para vaporizar completamente a amostra é algebricamente representado por  $Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4$ .

Resposta: E

- 3 (MODELO ENEM)** – O gráfico a seguir é a curva de aquecimento de 10g de uma substância, à pressão de 1 atm.



Analise as seguintes afirmações:

- A substância em questão é a água.
- O ponto de ebulição dessa substância é  $80^\circ\text{C}$ .
- O calor latente específico de fusão dessa substância é  $20\text{cal/g}$ .

Das afirmações acima,

- todas estão corretas.
- todas estão erradas.
- somente I e II estão corretas.
- somente II e III estão corretas.
- somente I está correta.

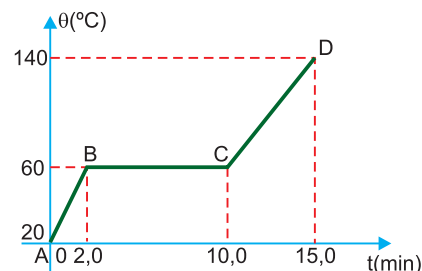
### RESOLUÇÃO:

- FALSA.** Sob pressão normal (1 atm), a água sofre fusão na temperatura de  $0^\circ\text{C}$ . No diagrama, notamos que a substância em questão se funde a  $-20^\circ\text{C}$  (primeiro patamar). Assim, essa substância não é a água.
- VERDADEIRA.** O segundo patamar indica a temperatura de ebulição da substância. Do gráfico, notamos que essa temperatura corresponde a  $80^\circ\text{C}$ .
- VERDADEIRA.** No primeiro patamar, temos:  $Q = m L$

$$(300 - 100) = 10 \cdot L_F \Rightarrow L_F = 20 \text{ cal/g}$$

Resposta: D

- 4** O gráfico a seguir dá a temperatura de um corpo em função do tempo. O corpo inicialmente estava no estado sólido e sua massa é 100g. A fonte de calor que o aquece fornece  $400\text{cal/min}$ .



O calor específico latente de fusão da substância, em  $\text{cal/g}$ , é igual a:

- 0,20      b) 1,0      c) 25      d) 30      e) 32

### RESOLUÇÃO:

$$Q_{\text{fusão}} = \text{Pot} \cdot \Delta t$$

$$mL_F = \text{Pot} \cdot \Delta t$$

$$100 \cdot L_F = 400 (10 - 2,0)$$

$$L_F = 32\text{cal/g}$$

Resposta: E

5 (UNIFOR-CE) – Uma pedra de gelo, de 40g de massa e a temperatura de  $-10^{\circ}\text{C}$ , é exposta ao sol. Admitindo que o gelo só absorve calor do sol a uma taxa média de  $200 \text{ cal/min}$ , podemos afirmar que o tempo gasto para a pedra derreter completamente é, em minutos, de

- a) 1      b) 5      c) 16      d) 17      e) 34

Dados: Calor específico sensível do gelo =  $0,50 \text{ cal/g}^{\circ}\text{C}$ ;  
Calor específico latente de fusão do gelo =  $80 \text{ cal/g}$ .

**RESOLUÇÃO:**

$$Pot \Delta t = (m c \Delta \theta)_{\text{gelo}} + (mL)$$

$$200 \cdot \Delta t = 40 \cdot 0,5 \cdot [0 - (-10)] + 40 \cdot 80 \Rightarrow \Delta t = 17 \text{ min}$$

Resposta: D

**Módulo**

**12**

**Mudanças de estado IV – Balanço energético**

**Exercícios Resolvidos**

1 (FGV-SP-MODELO ENEM) – Um suco de laranja foi preparado em uma jarra, adicionando-se a  $250 \text{ m}^{\ell}$  de suco de laranja a  $20^{\circ}\text{C}$ ,  $50 \text{ g}$  de gelo fundente. Estabelecido o equilíbrio térmico, a temperatura do **suco gelado** era, em  $^{\circ}\text{C}$ , aproximadamente

- a) 0,5      b) 1,2      c) 1,7  
d) 2,4      e) 3,3

Dados: calor específico da água =  $1 \text{ cal/g}^{\circ}\text{C}$   
calor específico do suco de laranja =  $1 \text{ cal/g}^{\circ}\text{C}$   
densidade do suco de laranja =  $1 \cdot 10^3 \text{ g/l}$   
calor latente de fusão do gelo =  $80 \text{ cal/g}$

**Resolução**

1)  $d = \frac{m}{V} \Rightarrow m = dV$

$$m = 1 \cdot 10^3 \cdot 250 \cdot 10^{-3} \text{ (g)}$$

$$m = 250 \text{ g}$$

2) No equilíbrio, temos:

$$Q_{\text{cedido}} + Q_{\text{recebido}} = 0$$

$$(mc\Delta\theta)_{\text{suco}} + [mL_f + mc\Delta\theta]_{\text{gelo}} = 0$$

$$250 \cdot 1 \cdot (\theta_f - 20) + 50 \cdot 80 + 50 \cdot 1 \cdot (\theta_f - 0) = 0$$

$$250 \theta_f - 5000 + 4000 + 50 \theta_f = 0$$

$$300 \theta_f = 1000$$

$$\theta_f \cong 3,3^{\circ}\text{C}$$

Resposta: E

2 (UCSA-BA-MODELO ENEM) – A um bloco de gelo, inicialmente a  $0^{\circ}\text{C}$ , é fornecida certa quantidade de calor até que sua massa seja totalmente convertida em água líquida. Essa quantidade de calor continua sendo fornecida, agora, à massa de água em estado líquido, até que esta atinja temperatura de  $80^{\circ}\text{C}$ . Pode-se afirmar que durante todo o processo a temperatura do gelo

- a) permanece constante até que toda a massa de gelo seja transformada em água e, em seguida, a temperatura da água aumenta continuamente até atingir  $80^{\circ}\text{C}$ .  
b) permanece constante a  $0^{\circ}\text{C}$  até que toda a massa de gelo seja derretida e, em seguida,

a temperatura da água permanece constante à temperatura de  $80^{\circ}\text{C}$ .

- c) aumenta durante a fusão de  $0^{\circ}\text{C}$  a  $32^{\circ}\text{C}$  e, em seguida, a água sofre uma variação de temperatura de  $32^{\circ}\text{C}$  para  $80^{\circ}\text{C}$ .  
d) aumenta continuamente até toda a massa de gelo ser transformada em água em estado líquido.  
e) e da água em estado líquido permanecem iguais ao longo de todo o período de fornecimento de calor.

**Resolução**

Durante a mudança de estado (fusão), a  $0^{\circ}\text{C}$ , a temperatura permanece constante porque a energia térmica recebida transforma-se em energia potencial de agregação e não energia cinética de agitação que corresponderia a um aumento de temperatura. Após todo o gelo se ter transformado em água, a energia térmica recebida irá provocar um aumento progressivo de temperatura na massa líquida, até atingir os  $80^{\circ}\text{C}$ .

Resposta: A

**Exercícios Propostos**

1 (FUVEST-FGV-SP) – Dispõe-se de água a  $80^{\circ}\text{C}$  e gelo a  $0^{\circ}\text{C}$ . Deseja-se obter  $100 \text{ gramas}$  de água a uma temperatura de  $40^{\circ}\text{C}$  (após o equilíbrio), misturando água e gelo em um recipiente isolante e com capacidade térmica desprezível. Sabe-se que o calor específico latente de fusão do gelo é  $80 \text{ cal/g}$  e o calor específico sensível da água é  $1,0 \text{ cal/g}^{\circ}\text{C}$ .

A massa de gelo a ser utilizada é

- a) 5,0g      b) 12,5g      c) 25g      d) 33g      e) 50g

**RESOLUÇÃO:**

$$m_{\text{água}} = 100 - m_{\text{gelo}}$$

$$Q_{\text{fusão}} + Q_{\text{água do gelo}} + Q_{\text{água}} = 0$$

$$(mL_f)_{\text{gelo}} + (mc\Delta\theta)_{\text{água do gelo}} + (mc\Delta\theta)_{\text{água}} = 0$$

$$m_{\text{gelo}} \cdot 80 + m_{\text{gelo}} \cdot 1 \cdot (40 - 0) + (100 - m_{\text{gelo}}) \cdot 1 \cdot (40 - 80) = 0$$

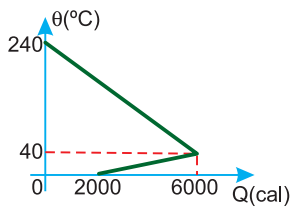
$$80 m_{\text{gelo}} + 40 m_{\text{gelo}} - 4000 + 40 m_{\text{gelo}} = 0$$

$$160 m_{\text{gelo}} = 4000$$

$$m_{\text{gelo}} = 25 \text{ g}$$

Resposta: C

- 2 (UFU-MG)** – Um corpo metálico de massa  $m = 1,0\text{kg}$  a  $240^\circ\text{C}$  é colocado num calorímetro de capacidade térmica desprezível, contendo uma mistura de gelo e água puros. O gráfico ao lado mostra a variação da temperatura dos corpos em função das quantidades de calor trocadas por eles.



Dados: Calor específico latente de fusão do gelo:  $L_F = 80\text{cal/g}$   
Calor específico sensível da água:  $c = 1,0\text{ cal/g}^\circ\text{C}$

Determinar

- o calor específico sensível do corpo metálico;
- a massa de água líquida que havia no início da mistura.

### RESOLUÇÃO:

a)  $Q_{\text{recebido}} + Q_{\text{cedido}} = 0$

$$(mc\Delta\theta)_{\text{corpo metálico}} + 6000 = 0$$

$$1000 \cdot c \cdot (40 - 240) = -6000$$

$$-200\,000c = -6000$$

$$c = \frac{3}{100} \Rightarrow \boxed{c = 0,03\text{cal/g}^\circ\text{C}}$$

b) Cálculo da massa de gelo ( $m$ ):

$$Q_1 = mL_F$$

$$2000 = m \cdot 80$$

$$m = 25\text{g}$$

Cálculo da massa de água ( $m'$ ):

$$Q_2 = (m + m') c_{\text{água}} \cdot \Delta\theta$$

$$6000 - 2000 = (25 + m') \cdot 1 \cdot (40 - 0)$$

$$4000 = (25 + m') \cdot 40$$

$$25 + m' = 100 \Rightarrow \boxed{m' = 75\text{g}}$$

- 3 (MODELO ENEM)** – Paulo deseja beber água a uma temperatura de  $10^\circ\text{C}$ . Para tanto, dispõe de  $200\text{g}$  de água à temperatura de  $25^\circ\text{C}$ , pedras de gelo fundente e de uma garrafa térmica de capacidade térmica  $6\text{ cal/}^\circ\text{C}$  cuja temperatura interna é de  $15^\circ\text{C}$ . Se cada pedra de gelo tem aproximadamente  $3\text{g}$ , e Paulo vai colocar tudo na garrafa térmica e aguardar o equilíbrio térmico, deverá usar

- 11 pedras
- 13 pedras
- 14 pedras
- 15 pedras
- 16 pedras

Dados: calor específico sensível da água =  $1\text{ cal/g}^\circ\text{C}$   
calor específico latente de fusão do gelo =  $80\text{ cal/g}$

### RESOLUÇÃO:

Fazendo o balanço energético, temos:

$$Q_{\text{cedido}} + Q_{\text{recebido}} = 0$$

$$(m c \Delta\theta)_{\text{água}} + [(m L_F)_{\text{gelo}} + m c \Delta\theta] + (C \Delta\theta)_{\text{garrafa}} = 0$$

$$200 \cdot 1 \cdot (10 - 25) + m \cdot 80 + m \cdot 1 \cdot (10 - 0) + 6(10 - 5) = 0$$

$$-3000 + 80m + 10m + 30 = 0$$

$$90m = 2970$$

$$m = 33\text{g}$$

Como cada pedra de gelo possui  $3\text{g}$ , temos:

$$n = \frac{33}{3} \Rightarrow \boxed{n = 11 \text{ pedras}}$$

Resposta: A

- 4 (VUNESP-SP)** – Um recipiente de capacidade térmica desprezível e isolado termicamente contém  $25\text{kg}$  de água à temperatura de  $30^\circ\text{C}$ .

- Determine a massa de água a  $65^\circ\text{C}$  que se deve despejar no recipiente para se obter uma mistura em equilíbrio térmico à temperatura de  $40^\circ\text{C}$ .
- Se, em vez de  $40^\circ\text{C}$ , quiséssemos uma temperatura final de  $20^\circ\text{C}$ , qual seria a massa de gelo a  $0^\circ\text{C}$  que deveríamos juntar aos  $25\text{ kg}$  de água a  $30^\circ\text{C}$ ?

Considere o calor específico da água igual a  $4,0\text{J/g}^\circ\text{C}$  e o calor latente de fusão do gelo igual a  $320\text{ J/g}$ .

### RESOLUÇÃO:

a) Na mistura de água quente com água fria, temos:

$$Q_{\text{cedido}} + Q_{\text{recebido}} = 0$$

$$(mc\Delta\theta)_{\text{água quente}} + (mc\Delta\theta)_{\text{água fria}} = 0$$

$$m \cdot c \cdot (40 - 65) + 25 \cdot c \cdot (40 - 30) = 0$$

$$-25m + 250 = 0$$

$$25m = 250 \Rightarrow \boxed{m = 10\text{kg}}$$

b) Na mistura de água com gelo fundente, temos:

$$Q_{\text{cedido}} + Q_{\text{recebido}} = 0$$

$$(mc\Delta\theta)_{\text{água}} + [(mL_F) + (mc\Delta\theta)]_{\text{gelo}} = 0$$

$$25\,000 \cdot 4,0(20 - 30) + m \cdot 320 + m \cdot 4,0 \cdot (20 - 0) = 0$$

$$-1\,000\,000 + 320m + 80m = 0 \Rightarrow 400m = 1\,000\,000$$

$$m = 2\,500\text{g} \Rightarrow \boxed{m = 2,5\text{kg}}$$

Respostas: a)  $10\text{kg}$       b)  $2,5\text{kg}$

- Fluxo de calor
- Lei de Fourier •  $\frac{Q}{\Delta t} = \frac{CS\Delta\theta}{L}$

## 1. Introdução

**Transmissão de calor** é a denominação dada à passagem da energia térmica de um corpo para outro ou de uma parte para outra de um mesmo corpo. Essa transmissão pode processar-se de três maneiras diferentes, que são denominadas: **condução**, **convecção** e **radiação**.

## 2. Condução

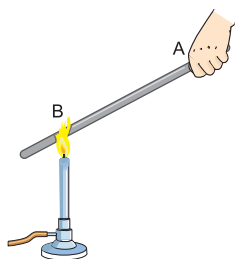
É o processo de transmissão de calor em que a energia térmica passa de um local para outro através das partículas do meio que os separa.

Como exemplo de condução de calor, podemos citar o aquecimento da água existente em uma panela de alumínio colocada sobre a chama de um fogão.

A energia térmica, para atingir a água, deve atravessar uma placa de alumínio, passando de partícula para partícula desse material.

Notemos que, se não existissem as partículas constituintes da placa, não haveria condução de calor.

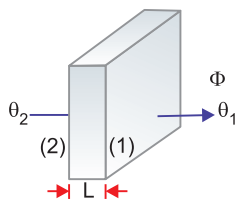
Dessa forma, a **condução** de calor é um processo que exige a presença de meio material e que, portanto, não ocorre no vácuo.



*Sendo o metal bom condutor de calor, haverá um fluxo de energia térmica no sentido de B para A, atingindo a mão da pessoa.*

Consideremos dois meios, (1) e (2), em temperaturas diferentes,  $\theta_1$  e  $\theta_2$  ( $\theta_1 < \theta_2$ ), separados por uma placa metálica de área S e espessura L.

Verifica-se que há uma passagem de calor de (2) para (1). Define-se fluxo de calor ( $\Phi$ ) através da placa como sendo o quociente da quantidade de calor que a atravessa pelo tempo gasto para atravessá-la.



Portanto, o fluxo de calor representa a quantidade de calor que atravessa a placa na unidade de tempo.

Atingido o regime estacionário de escoamento de calor através da chapa metálica, verifica-se, experimentalmente, que o fluxo de calor  $\Phi$  é proporcional à área S da placa, à diferença de temperatura  $\Delta\theta$  entre os meios (1) e (2) que ela separa, e é inversamente proporcional à espessura L da placa, podendo ser escrita a relação:

$$\Phi = \frac{Q}{\text{tempo}} = \frac{CS\Delta\theta}{L}$$

em que C é uma constante de proporcionalidade característica do material que constitui a placa, chamada **coeficiente de condutibilidade térmica**.

Notemos que, para S,  $\Delta\theta$  e L iguais, quanto maior for C, maior será o fluxo de calor. Portanto:

– se o C de um material é **grande**, diremos que este material é **bom condutor** de calor.

**Exemplo:** os metais de um modo geral.

– se o C de um material é **pequeno**, diremos que este material é **mau condutor** de calor.

Se o material é péssimo condutor, costuma-se dizer que é um isolante térmico.

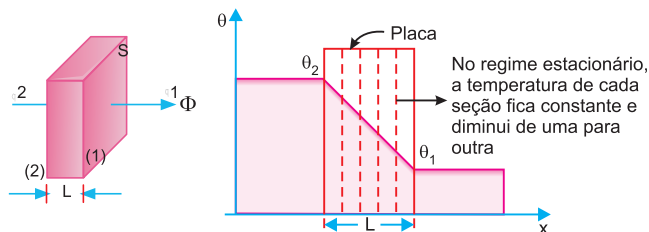


Como exemplo de isolantes térmicos, podemos citar: isopor, cortiça, porcelana, borracha, madeira, mica e os gases de um modo geral.

*O calor propaga-se através da parede do forno de uma pizzaria.*

### Regime estacionário

Ao longo da espessura L da placa, cada seção transversal da placa estabiliza sua temperatura.



### RESUMO DA CONDUÇÃO DE CALOR

Energia passa de partícula a partícula (não ocorre no vácuo)

$$\text{Fluxo de calor } \Phi = \frac{Q}{\text{tempo}} = \frac{CS\Delta\theta}{L}$$

C = coeficiente de condutibilidade térmica

C<sub>grande</sub> = bom condutor (metais)

C<sub>pequeno</sub> = mau condutor (isolantes)

## Exercícios Resolvidos

1 (MODELO ENEM) – Observe a tabela abaixo.

### Tabela de condutibilidade térmica

Substância	Condutibilidade Térmica $\left(\frac{\text{cal}}{\text{s.cm.}^\circ\text{C}}\right)$
Ar seco	$3,5 \cdot 10^{-5}$
Lã de vidro	$1,0 \cdot 10^{-4}$
Seda	$2,2 \cdot 10^{-4}$
Hidrogênio	$4,4 \cdot 10^{-4}$
Água	$1,4 \cdot 10^{-3}$
Gelo	$2,2 \cdot 10^{-3}$
Mercúrio (líquido)	$2,1 \cdot 10^{-2}$
Alumínio	$5,5 \cdot 10^{-1}$
Prata	$9,7 \cdot 10^{-1}$

É correto afirmar que

- os metais são isolantes térmicos.
- ar seco e lã de vidro são condutores térmicos eficientes.
- a razão entre os coeficientes de condutibilidade térmica do gelo e da seda vale 10.
- a prata permite a passagem de aproximadamente uma caloria por segundo através de uma placa de um centímetro de espessura, mantida a  $1,0^\circ\text{C}$ .
- os líquidos e os gases não conduzem calor.

#### Resolução

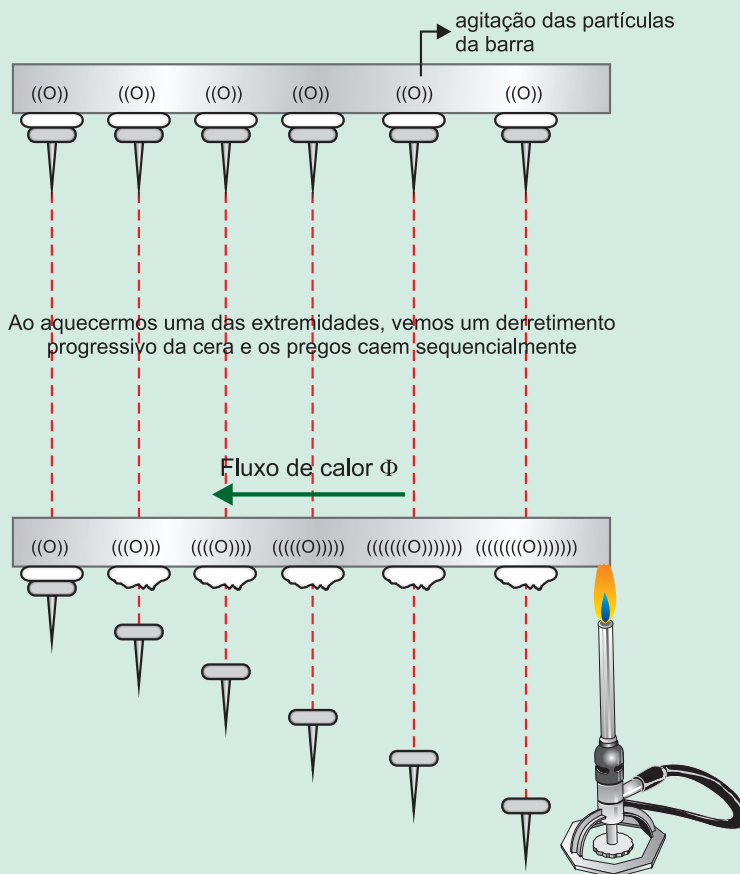
$$\frac{C_{\text{gelo}}}{C_{\text{seda}}} = \frac{2,2 \cdot 10^{-3}}{2,2 \cdot 10^{-4}} = 10$$

**Resposta: C**

2 (MODELO ENEM) – O procedimento experimental apresentado a seguir permite o esclarecimento de alguns pontos da transmissão de calor.

### COMPROVAÇÃO DA CONDUÇÃO DE CALOR

Pequenos pregos são fixados numa barra metálica com cera



Analise as proposições que se seguem

- O aquecimento completo da barra é instantâneo.
- O fluxo de calor  $\Phi$  tem a mesma unidade de potência no sistema internacional (SI).
- A agitação das partículas relaciona-se com a temperatura.
- O derretimento da cera é um exemplo de fusão.

São corretas apenas

- I, II e III
- I, II e IV
- II e IV
- III e IV
- II, III e IV

#### Resolução

- INCORRETA. O fluxo de calor é dependente do tempo de aquecimento.
- CORRETA. A unidade é o watt (J/s)
- CORRETA
- CORRETA

**Resposta: E**

## Exercícios Propostos

1 (MODELO ENEM) – O fluxo de calor ou corrente térmica ( $\Phi$ ) através de uma placa condutora é determinada pela expressão

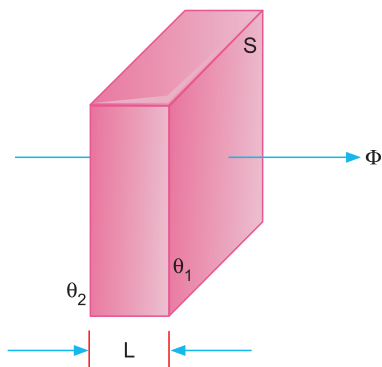
$$\Phi = \frac{C \cdot S \cdot \Delta\theta}{L}$$

em que: C: coeficiente de condutibilidade térmica

S: área de secção transversal da placa

L: espessura da placa

$\Delta\theta$ : diferença entre as temperaturas das faces das placas.



Determine

- a) o fluxo de calor em uma placa de área de seção transversal igual a  $1,0\text{m}^2$  e  $8,0\text{cm}$  de espessura, quando a diferença de temperatura entre as faces opostas é  $100^\circ\text{C}$ .

$$\left( \text{Considere } C = 20 \cdot 10^{-2} \frac{\text{cal}}{\text{s m}^\circ\text{C}} \right)$$

- b) o fluxo de calor através da placa se reduzirmos pela metade a sua espessura.

**RESOLUÇÃO:**

$$\text{a) } \Phi = \frac{C S \Delta\theta}{L} = \frac{20 \cdot 10^{-2} \cdot 1 \cdot 100}{8,0 \cdot 10^{-2}} \Rightarrow \Phi = 250\text{cal/s}$$

$$\text{b) } \Phi' = \frac{C S \Delta\theta}{\frac{L}{2}} = \frac{20 \cdot 10^{-2} \cdot 1 \cdot 100}{4,0 \cdot 10^{-2}} \Rightarrow \Phi' = 500\text{cal/s}$$

- 2 (UFPB-MODELO ENEM)** – O matemático e físico francês Jean Baptiste Joseph Fourier (1768-1830) estudou a condução do calor através de sólidos e publicou, em 1822, a teoria analítica do calor, criando uma lei que levou o seu nome — Lei de Fourier. Observe a seguir uma aplicação desta teoria. Um fogão de cozinha elétrico possui entre as paredes do seu forno um isolante constituído por uma camada de fibra



de vidro com área total de  $1,40\text{m}^2$  e espessura de  $4,0\text{cm}$ . Ao ligar o forno deste fogão, após um certo tempo, a superfície interna da fibra de vidro alcança uma temperatura de  $175^\circ\text{C}$  e sua superfície externa encontra-se a uma temperatura de  $35^\circ\text{C}$ . Considerando-se que a condutividade térmica da fibra de vidro é igual a  $0,04\text{W/m}^\circ\text{C}$ , a taxa de transferência de calor através do isolante, em W, vale:

- a) 196    b) 294    c) 130    d) 150    e) 175

**RESOLUÇÃO:**

$$\text{Equação de Fourier } \Phi = \frac{Q}{\Delta t} = \frac{C S \Delta\theta}{e}$$

A taxa de transferência de calor, em W, é determinada por:

$$\Phi = \frac{0,040 \cdot 1,40 \cdot (175 - 35)}{4,0 \cdot 10^{-2}} \quad \Phi = 196\text{W}$$

**Resposta: A**

- 3 (UFBA-MODELO ENEM)** – Ao encostarmos a mão em uma peça de cobre maciça e em seguida em um objeto de madeira, ambos à mesma temperatura ambiente, temos a sensação de que o cobre está mais frio, porque

- a) a capacidade térmica da madeira é maior que a do cobre.  
 b) o calor específico do cobre é menor que o da madeira.  
 c) a condutibilidade térmica do cobre é maior que a da madeira.  
 d) a irradiação de calor da mão em contato com o cobre é menor do que quando em contato com a madeira.  
 e) a convecção no cobre é superior à observada na madeira.

**Resposta: C**

- 4 (UNIUBE-MG-MODELO ENEM)** – Quando, numa noite de baixa temperatura, vamos para a cama, nós a encontramos fria, mesmo que sobre ela estejam vários cobertores de lã. Passado algum tempo, aquecemo-nos porque

- a) o cobertor de lã impede a entrada do frio.  
 b) o cobertor de lã não é aquecedor, mas sim um bom isolante térmico.  
 c) o cobertor de lã só produz calor quando em contato com o nosso corpo.  
 d) o cobertor de lã não é um bom absorvedor de frio.  
 e) o corpo humano é um bom absorvedor de frio.

**RESOLUÇÃO:**

**O cobertor de lã funciona como isolante térmico, evitando que o calor emitido pelo nosso corpo saia para o meio ambiente. Portanto, os agasalhos e cobertores não aquecem, apenas isolam o corpo do meio ambiente.**

**Resposta: B**

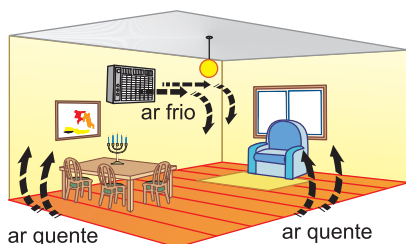
## 1. Convecção

Suponha uma sala em que se ligue um aquecedor elétrico em sua parte inferior.

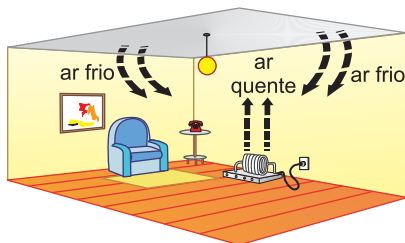
O ar em torno do aquecedor aquece-se, tornando-se menos denso que o restante. Com isso, ele sobe e o ar frio desce, havendo uma troca de posição do ar quente que sobe com o ar frio que desce. A este movimento de massas de fluido chamamos **convecção** e as correntes de ar formadas são **correntes de convecção**.

Dessa forma, podemos dizer que **convecção** são movimentos de massas fluidas (líquidos, gases e vapores) que trocam de posição. Notemos que a convecção **não pode** ocorrer no vácuo nem nos sólidos.

A convecção pode **ser natural**, quando é ocasionada por diferença de densidade (devido à diferença de temperatura) entre as massas de fluido, ou **forçada**, quando é ocasionada por bombas ou ventiladores.



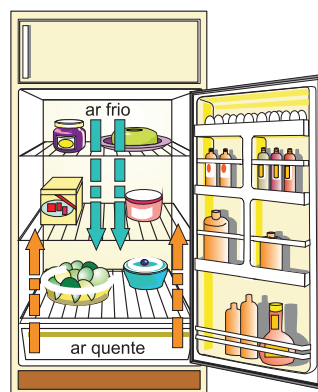
*O aparelho de ar-condicionado deve ser colocado na parte superior da parede da sala.*



*No inverno, o ar aquecido pelo aquecedor elétrico deve ser produzido na parte inferior da sala.*

## 2. Geladeira doméstica

Nas geladeiras domésticas, o congelador está sempre colocado na parte superior para que, pela **convecção** do ar, produza o resfriamento dos alimentos. O ar "quente" que está próximo dos alimentos sobe, sendo resfriado pelo congelador e, agora, o ar "frio" desce para retirar energia térmica dos alimentos, resfriando-os. Para que a convecção do ar possa ocorrer, as prateleiras são grades vazadas. A dona de casa não deve cobrir essas prateleiras para não prejudicar a convecção do ar no interior da geladeira.

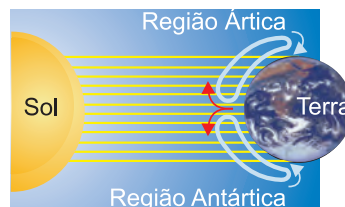


*Nas geladeiras domésticas, os alimentos são resfriados pelo ar frio que desce devido à convecção. As prateleiras são feitas como grades (e não inteiriças) para permitir a convecção de ar dentro da geladeira.*

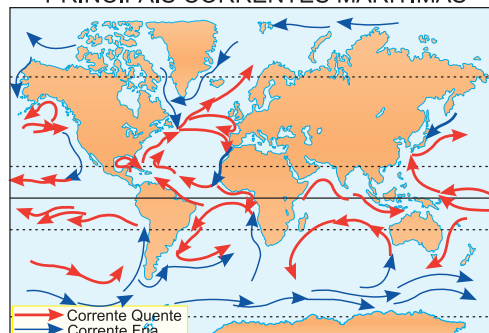
## 3. Física e previsão do tempo

O estudo do clima e as consequentes previsões meteorológicas sempre foram um dos problemas mais complexos já encarados pelo ser humano. O movimento dos ventos e as correntes marítimas são fenômenos de extrema influência na caracterização do tempo. Tais movimentos são bastante complicados por receberem influências de diferentes origens: o movimento de rotação da Terra, a interação gravitacional da Terra com o Sol e com a Lua, o encontro das massas de ar e água com os continentes e também as diferenças de temperatura entre os diversos pontos do planeta.

O ar aquecido próximo do Equador acaba por se expandir (zonas de baixa pressão) rumo às regiões polares (zonas de alta pressão), o que influencia grandemente o movimento das massas atmosféricas ao redor do globo. Nesse movimento, o ar "arrasta" as camadas superficiais da água nos oceanos, contribuindo para a formação das correntes marítimas.



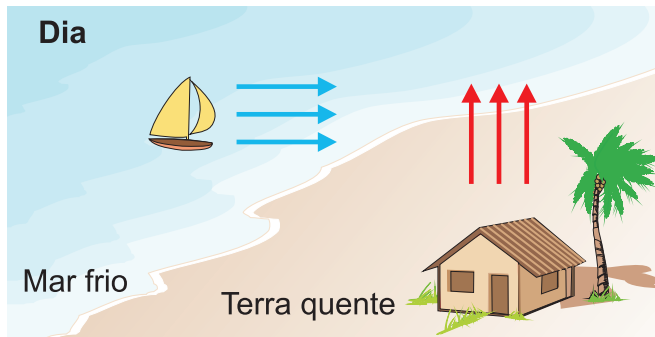
### PRINCIPAIS CORRENTES MARÍTIMAS



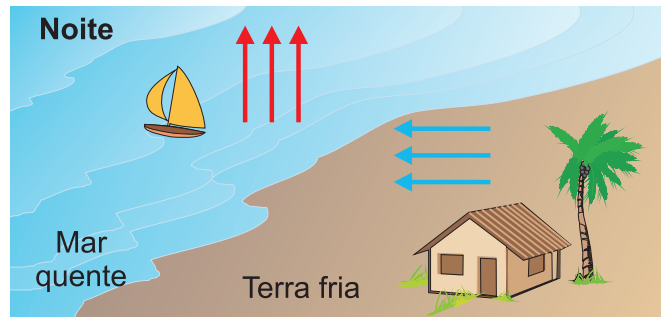
Note na figura como as massas de água aquecidas fluem do Equador rumo aos polos, "empurrando" as massas frias em sentido oposto.

## Brisas litorâneas

**DURANTE O DIA:** O ar próximo da areia fica mais quente que o restante e sobe, dando lugar a uma corrente de ar da água para a terra. É o vento que, durante o dia, sopra do mar para a terra.



**DURANTE A NOITE:** O ar próximo da superfície da água se resfria menos. Com isto ele fica mais quente que o restante e sobe, dando lugar a uma corrente de ar da terra para a água. É o vento que, durante a noite, sopra da terra para o mar.

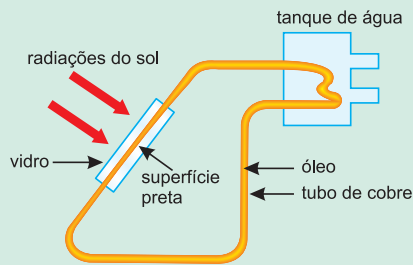


## Exercício Resolvido

**1 (MODELO ENEM)** – Para evitar o consumo elevado de energia elétrica, uma família procurou utilizar um aquecedor solar.

O aquecedor solar é composto de: coletores solares, um tubo de cobre com óleo em seu interior e um tanque de água (vide figura).

Os coletores recebem energia solar, transmitem-na para o óleo, através do cano de cobre, o qual, por sua vez, leva calor para o tanque.



O calor se propaga através do óleo até atingir a água do tanque, por

- a) condução
- b) convecção
- c) radiação
- d) convecção e condução
- e) condução e radiação

### Resolução

O óleo absorve a energia solar, é aquecido e, por convecção, essa energia é levada até o tanque. A água é aquecida pela condução de calor do óleo para a água.

**Resposta: D**

## Exercícios Propostos

**1 (UFRJ)** – A transmissão do calor de um ponto para outro, graças ao deslocamento do próprio material aquecido, é um fenômeno de

- a) irradiação.
- b) condução.
- c) emissão.
- d) convecção.
- e) radiação.

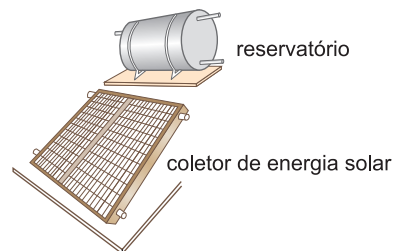
**Resposta: D**

**2 (FUVEST-SP-MODELO ENEM)** – Nas geladeiras, o congelador fica sempre na parte de cima para

- a) manter a parte de baixo mais fria que o congelador.
- b) manter a parte de baixo mais quente que o congelador.
- c) que o calor vá para o congelador, por convecção.
- d) acelerar a produção de cubos de gelo.
- e) que o frio vá para o congelador.

**Resposta: C**

**3 (UFMG-MODELO ENEM)** – Atualmente, a energia solar está sendo muito utilizada em sistemas de aquecimento de água. Nesses sistemas, a água circula entre um reservatório e um coletor de energia solar. Para o perfeito funcionamento desses sistemas, o reservatório deve estar em um nível superior ao do coletor, como mostrado nesta figura:

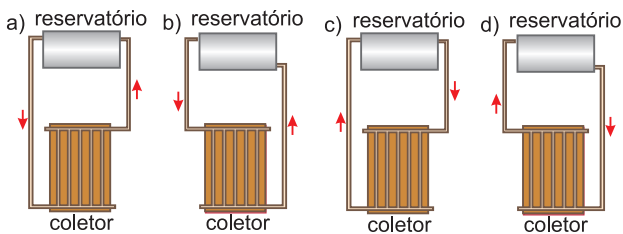


No coletor, a água circula através de dois canos horizontais ligados por vários canos verticais. A água fria sai do reservatório, entra no coletor, onde é aquecida, e retorna ao reservatório por convecção.

Nas quatro alternativas, estão representadas algumas formas de se conectar o reservatório ao coletor. As setas indicam o sentido de circulação da água.

Assinale a alternativa em que estão **corretamente** representados o sentido da circulação da água e a forma mais eficiente para se aquecer toda a água do reservatório.





**RESOLUÇÃO:**

A água quente sobe (é menos densa) e a água fria desce (é mais densa). A convecção ocorre devido ao campo gravitacional da Terra.

Resposta: D

**4 (PUC-RS)** – Numa cozinha, é fácil constatar que a temperatura é mais elevada próximo ao teto do que próximo ao chão, quando há fogo no fogão. Isso é devido ao fato de o

- a) calor não se propagar para baixo.
- b) calor não se propagar horizontalmente.
- c) ar quente subir, por ser menos denso do que o ar frio.
- d) ar quente subir, por ser mais denso do que o ar frio.
- e) ar frio descer, por ser menos denso do que o ar quente.

**RESOLUÇÃO:**

O ar aquecido pelo fogo e pela irradiação das panelas é menos denso do que o ar frio.

Assim, o ar quente sobe, ficando próximo do teto.

Resposta: C

**5 (FAZ-UBERABA-MG-MODELO ENEM)** – Algumas pessoas usam toalhas plásticas para forrar as prateleiras das suas geladeiras. Este procedimento

- a) melhora a conservação dos alimentos, pois aumenta o isolamento térmico das geladeiras.
- b) aumenta o consumo de energia da geladeira, pois reduz o fluxo do ar interno.
- c) reduz o consumo de energia da geladeira, pois o motor não precisa ficar ligado o tempo todo.
- d) melhora o desempenho da geladeira, pois reduz as perdas de calor por convecção.
- e) não interfere no funcionamento da geladeira, desde que a placa de resfriamento não seja coberta.

**RESOLUÇÃO:**

As toalhas plásticas dificultam a formação de correntes de convecção no interior da geladeira.

Resposta: B

**6 (UEL-PR-MODELO ENEM)** – O fenômeno da inversão térmica, quando ocorre em grandes cidades, agrava o problema da poluição atmosférica. Principalmente no inverno, quando ocorre a diminuição da incidência de radiação solar sobre a superfície, o ar adjacente ao solo pode não ser suficientemente aquecido, tornando-se mais frio que a camada imediatamente superior, provocando assim a inversão térmica. Com a ausência de movimentos verticais do ar, os poluentes ficam retidos na baixa atmosfera.

Sobre a inversão térmica, assinale a alternativa correta.

- a) O ar frio livre de poluentes se eleva naturalmente na atmosfera, evitando a ocorrência do fenômeno da inversão térmica.

- b) A mistura vertical de ar, durante a inversão térmica, ocorre por meio do movimento descendente do ar quente.
- c) A dispersão dos poluentes na atmosfera ocorre durante a inversão térmica porque o ar quente é mais denso que o ar frio.
- d) A inversão térmica ocorre porque, durante o inverno, a energia solar aquece apenas a alta atmosfera.
- e) A inversão térmica ocorre em virtude da insuficiência de radiação solar na superfície terrestre de determinada região e consequente ausência de convecção térmica.

**RESOLUÇÃO:**

A inversão térmica é típica do inverno. Nas grandes cidades, os gases emitidos ficam retidos próximo à superfície pelo fato de não ocorrer a convecção térmica, já que o ar e os gases estão mais frios do que as camadas superiores da atmosfera.

Resposta: E

**7 (UFES-MODELO ENEM)** – Um ventilador de teto, fixado acima de uma lâmpada incandescente, apesar de desligado, gira lentamente algum tempo após a lâmpada estar acesa. Esse fenômeno é devido a

- a) convecção do ar aquecido.
- b) condução do calor.
- c) irradiação da luz e do calor.
- d) reflexão da luz.
- e) polarização da luz.

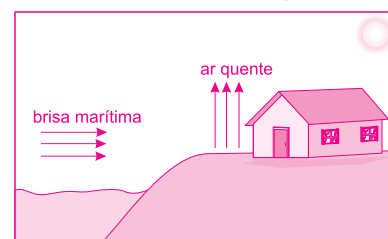
Resposta: A

**8 (UNISA-SP-MODELO ENEM)** – A água, tendo alto calor específico, sofre variações de temperatura relativamente pequenas. Desse modo, numa região litorânea, a terra se aquece mais que o mar durante o dia, provocando a brisa marítima; e à noite, a terra se esfria mais que o mar, provocando a brisa terrestre. Os fenômenos da brisa marítima e terrestre ocorrem pela(o)

- a) irradiação térmica.
- b) condução térmica.
- c) efeito estufa.
- d) convecção térmica.
- e) isolamento térmico da terra.

**RESOLUÇÃO:**

Durante o dia, a terra se aquece mais do que a água do mar.



Durante a noite, a terra se esfria mais rápido, ficando a água mais quente.



Essas brisas ocorrem devido à convecção térmica no ar.

Resposta: D

**9 (UNISA-SP-MODELO ENEM)** – Uma panela com água está sendo aquecida num fogão. O calor das chamas se transmite através da parede do fundo da panela para a água que está em contato com essa parede e daí para o restante da água. Na ordem desta descrição, o calor se transmitiu predominantemente por

- a) radiação e convecção      b) radiação e condução  
 c) convecção e radiação      d) condução e convecção  
 e) condução e radiação

**RESOLUÇÃO:**

O calor flui através da parede do fundo da panela por condução e, ao aquecer a água dessa região, promove a diferença de densidades, na massa líquida, necessária para a convecção.

Resposta: D

**10 (UNIFENAS-MG)** – A transmissão de calor por **convecção** só é possível

- a) no vácuo.                      b) nos sólidos.                      c) nos líquidos.  
 d) nos gases.                      e) nos fluidos em geral.

Resposta: E

**Módulo**

**15**

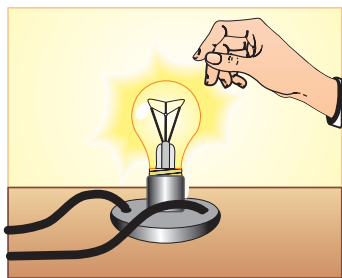
**Radiação térmica**

**Palavras-chave:**

- Vácuo • Infravermelho

**Radiação**

É o processo de transmissão de calor por ondas eletromagnéticas (ondas de calor). A energia emitida por um corpo (energia radiante) propaga-se até o outro através do espaço que os separa.



Sendo uma transmissão de calor por ondas eletromagnéticas, a radiação não exige a presença do meio material para ocorrer, isto é, **a radiação ocorre em meios materiais e também no vácuo.**

Entretanto, não são todos os meios materiais que permitem a propagação das ondas de calor através deles. Desta forma, podemos classificar os meios materiais em:

– **Diatérmicos:** são os meios que permitem a propagação das ondas de calor através deles (são os meios transparentes às ondas de calor).

**Exemplo:** ar atmosférico.

– **Atérmicos:** são os meios que não permitem a propagação das ondas de calor através deles (são os meios opacos às ondas de calor).

Ex.: parede de tijolo.

Como exemplo de radiação, podemos citar a energia solar que recebemos diariamente, a energia emitida por uma lareira que nos aquece no inverno, a energia emitida por uma lâmpada de filamento, cujo efeito sentimos eficazmente quando dela nos aproximamos, e outros.



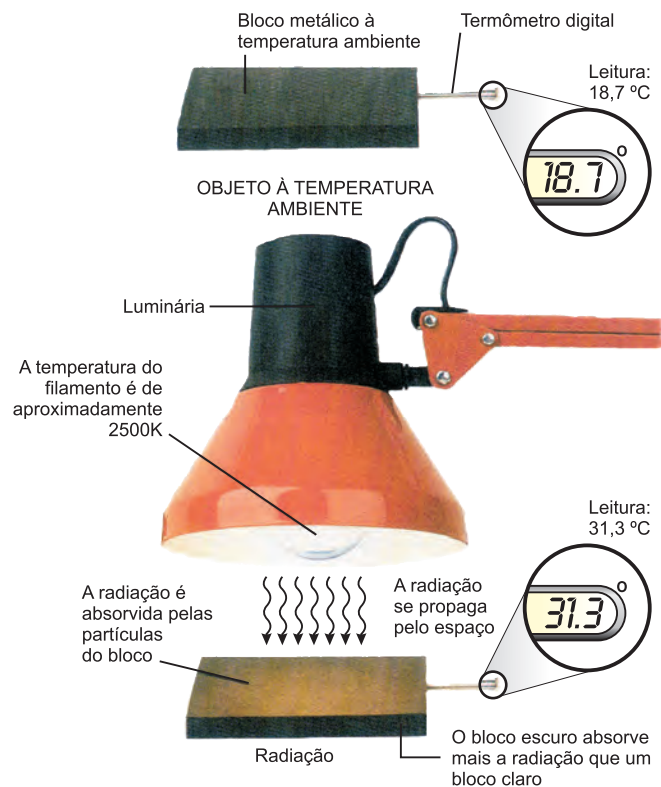
Toda energia radiante, transportada por ondas de rádio, raios infravermelhos, raios ultravioleta, luz visível, raios X, raios  $\gamma$  etc., pode converter-se em energia térmica por absorção. Entretanto, só as **radiações infravermelhas** são chamadas de **ondas de calor** ou radiações caloríficas.

*A energia térmica vem do Sol por meio de ondas eletromagnéticas.*

**Física experimental**

**Transferência de calor por radiação**

Um objeto à temperatura ambiente emite radiação – é a **radiação infravermelha**. Um objeto quente, como a lâmpada ao lado, emite grande quantidade de radiação infravermelha. Esta radiação pode aquecer outros objetos. Os objetos quentes esfriam-se à medida que emitem energia radiante.



As superfícies metálicas polidas refletem praticamente todas as ondas eletromagnéticas incidentes. Os corpos negros absorvem a maior parte e os brancos as refletem.

Por isso, recomenda-se que, no verão, não usemos roupas pretas, pois elas absorverão muita radiação, aquecendo-se mais que as peças brancas.

## Exercícios Resolvidos

**1 (PUC-MG-MODELO ENEM)** – As estufas constituem uma importante aplicação das propriedades dos raios infravermelhos. Mesmo quando não recebe luz solar, a estufa mantém-se aquecida (considere uma estufa para flores, construída em alvenaria, com telhado de vidro). Tal fato se explica, porque o calor penetra na estufa:

- por condução e sai muito pouco por convecção.
- por radiação e sai muito pouco por condução e convecção.
- por condução e convecção e sai somente por radiação.
- só por convecção e sai apenas por condução.
- por convecção e sai muito pouco por radiação.

### Resolução

Através dos vidros transparentes da estufa, entra energia radiante (**radiação**), em forma de luz visível, e um pouco de infravermelho. Como o recinto da estufa é fechado, sai pouca energia em forma de **convecção**. Sendo o vidro péssimo condutor de calor, muito pouco sai por **condução**.

### Resposta: B

- 2 (MACKENZIE)** – Corpo negro é
- qualquer objeto que emite radiação correspondente à cor preta.
  - uma cavidade de paredes opacas provida de pequenino orifício.
  - um corpo qualquer recoberto de negro de platina ou negro de fumo.
  - um objeto capaz de absorver integralmente as radiações de qualquer comprimento de

onda que sobre ele incidam.

- um objeto capaz de absorver integralmente as radiações de qualquer comprimento de onda, porém incapaz de reemitir-las.

### Resolução

Os corpos, em geral, refletem uma parcela ou todas as radiações que incidem sobre ele. Um corpo que se apresenta, por exemplo, na cor vermelha, reflete predominantemente as radiações correspondentes ao vermelho, absorvendo as demais radiações.

Chama-se *corpo negro* o corpo que absorve todas as radiações que incidem nele, não refletindo nada.

É importante observar que, pelo fato de o corpo negro ser o melhor absorvente, ele também é o melhor emissor de energia, sendo chamado de *radiador ideal*.

### Resposta: D

## Exercícios Propostos

**1 (UFJF-MG)** – Considere as informações abaixo:

- Transferência de calor de um ponto a outro por meio de movimento de matéria.
- Transferência de calor em um meio material, de molécula para molécula, sem que essas sofram translação.
- Transferência de calor de um ponto a outro sem necessidade de um meio material.

As afirmativas acima descrevem, **respectivamente**, os seguintes tipos de processos de transferência de calor:

- condução, convecção e irradiação.
- convecção, condução e irradiação.
- convecção, irradiação e condução.
- irradiação, condução e convecção.
- condução, irradiação e convecção.

### RESOLUÇÃO:

**I. Convecção    II. Condução    III. Radiação ou irradiação**

**Resposta: B**

- 2 (UFG-GO-MODELO ENEM)** – Estufas rurais são áreas limitadas de plantação cobertas por lonas plásticas transparentes que fazem, entre outras coisas, com que a temperatura interna seja superior à externa. Isso se dá porque
- o ar aquecido junto à lona desce por convecção até as plantas.
  - as lonas são mais transparentes às radiações da luz visível que às radiações infravermelhas.

- um fluxo líquido contínuo de energia se estabelece de fora para dentro da estufa.
- a expansão do ar expulsa o ar frio para fora da estufa.
- o ar retido na estufa atua como um bom condutor de calor, aquecendo o solo.

### RESOLUÇÃO:

**A lona plástica é transparente à luz visível e pouco transparente ao infravermelho. Assim, as ondas de calor (infravermelho) ficam retidas no interior, aquecendo o ambiente das plantas.**

**Resposta: B**

- 3 (FUVEST-SP-MODELO ENEM)** – O calor do Sol chega à Terra por um processo de
- condutibilidade, através das moléculas.
  - convecção, por aquecimento do meio.
  - difusão de partículas no vácuo.
  - radiação, que pode ocorrer no vácuo.
  - transdução, ligada ao plasma (4º estado da matéria).

**Resposta: D**

- 4 (UNITAU-SP)** – Se você tivesse de entrar num forno quente, preferiria ir
- nu.
  - envolto em roupa de seda.
  - envolto em roupa de lã.
  - envolto em roupa de lã recoberta com alumínio.
  - envolto em roupa de linho preto.

**Resposta: D**

- 5 (UEL-PR-MODELO ENEM)** – Embalagens tipo “longa vida” (abertas, com a parte interna voltada para cima, embaixo das telhas) podem ser utilizadas como material isolante em telhados de amianto, que no verão atingem temperaturas de 70°C. Sobre essa utilização do material, é correto afirmar:

- O calor emitido pelas telhas de amianto é absorvido integralmente pelo “forro longa vida”.
- O calor específico do “forro longa vida” é muito pequeno, e por isso sua temperatura é constante, independentemente da quantidade de calor que recebe da telha de amianto.
- A superfície de alumínio do “forro longa vida” reflete o calor emitido pelas telhas de amianto.
- A camada de papelão da embalagem tipo “longa vida” isola o calor emitido pelas telhas de amianto, pois sua capacidade térmica absorve a temperatura.
- A superfície de alumínio do “forro longa vida” é um isolante térmico do calor emitido pelas telhas de amianto, pois está revestida por uma camada de plástico.

**RESOLUÇÃO:**

**A superfície interna das embalagens “longa vida” reflete a energia radiante emitida pelas telhas de amianto. Isso evita que o cômodo da casa fique aquecido.**

**Resposta: C**

**6 (FUVEST)** – Têm-se dois copos, com a mesma quantidade de água, um aluminizado A e outro, negro, N, que ficam expostos ao Sol durante uma hora. Sendo inicialmente as temperaturas iguais, é mais provável que ocorra o seguinte:

- Ao fim de uma hora, não se pode dizer qual temperatura é maior.
- As temperaturas são sempre iguais em qualquer instante.
- Após uma hora, a temperatura de N é maior que a de A.
- De início, a temperatura de A decresce (devido à reflexão) e a de N aumenta
- As temperaturas de N e de A decrescem (devido à evaporação) e depois crescem.

**Resposta: C**

**7 (MACKENZIE)** – Consideremos dois tubos metálicos iguais com uma extremidade fechada envolvendo o bulbo de dois termômetros, inicialmente a uma temperatura  $t_A$  ambiente. O tubo A é polido externamente e o tubo B é enegrecido. Toma-se cuidado para que os termômetros não encostem nas paredes dos tubos. A seguir, o conjunto é colocado em presença de uma fonte que irradia energia térmica durante alguns minutos, depois dos quais se verifica que o termômetro 1 marca uma temperatura  $t_1$  e que o termômetro 2, uma temperatura  $t_2$ . Que relação deve existir entre as temperaturas  $t_1$  e  $t_2$ ?

- $t_1 > t_2$
- $t_1 < t_2$
- $t_1 = t_2$
- $t_1 = t_A$
- $t_2 = t_A$

**Resposta: B**

**8** Analise as afirmativas abaixo:

- Nas geladeiras, a refrigeração dos alimentos é feita por condução do ar em seu interior.
- A Terra recebe calor do Sol por convecção.
- A radiação é o único processo de propagação de calor que pode ocorrer no vácuo.

Assinale:

- se as afirmativas I, II e III estão corretas.
- se apenas as afirmativas I e II estão corretas.
- se apenas as afirmativas II e III estão corretas.
- se apenas a afirmativa II está correta.
- se apenas a afirmativa III está correta.

**Resposta: E**

**Módulo**

**16**

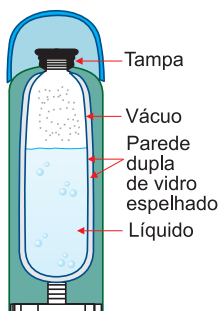
**Transmissão de calor – Aplicações**

**Palavras-chave:**

- Garrafa térmica • Efeito estufa

**1. Garrafa térmica**

**Garrafa térmica** ou **vaso de Dewar** é um dispositivo utilizado para manter inalterada a temperatura do seu conteúdo, no maior intervalo de tempo possível.



Para tanto, as paredes dessa garrafa não devem permitir a passagem de calor através delas.

Como a energia térmica se pode propagar por **condução**, **convecção** e **radiação**, foram usados os seguintes artifícios para evitar que o conteúdo sofra alteração em sua temperatura:

1. Para evitar trocas de calor por **condução**, o conteúdo da garrafa foi envolto em vácuo. Para tanto, ela é fabricada com parede dupla de vidro (péssimo condutor), com vácuo entre elas.

2. Para evitar trocas de calor por **convecção** (processo que exige trocas de partículas), deve-se manter a tampa da garrafa bem fechada.

3. Para evitar trocas de calor por **radiação**, as paredes são espelhadas em ambas as faces, assim, as ondas eletromagnéticas, entre as quais as radiações infravermelhas, refletem-se no “espelho” e retornam ao meio de origem.

Esse sistema não é perfeito, assim, após algum tempo (algumas horas) o conteúdo da garrafa térmica entra em equilíbrio térmico com o meio ambiente.

## 2. Estufas



Estufa de plantas.

Uma estufa é uma construção de vidro que mantém o seu interior aquecido, mesmo estando o meio externo a baixas temperaturas. O vidro, como o  $\text{CO}_2$ , é transparente à luz visível e praticamente opaco às radiações térmicas (infravermelho). Além disso, o vidro impede que o ar quente do interior da estufa escape por convecção térmica.

## 3. Efeito estufa: um alerta para o controle da poluição

**O efeito estufa:** alguns materiais têm o que se pode chamar de “transparência seletiva”, ou seja, são transparentes a radiações de certa frequência e opacos a outras. O gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ) tem tal propriedade: ele é transparente à luz visível e opaco ao infravermelho ou radiação térmica.

A quantidade de  $\text{CO}_2$  misturada na atmosfera durante muito tempo foi a ideal para a manutenção do equilíbrio ecológico no planeta. Se fosse menor, a Terra irradiaria muito calor para o espaço, resfriando-se; por outro lado, se a quantidade de  $\text{CO}_2$  fosse maior, a energia térmica se acumularia aquecendo o planeta. Nas últimas décadas, o ser humano tem aumentado apreciavelmente a concentração de  $\text{CO}_2$  na atmosfera, principalmente pela queima de hidrocarbonetos (petróleo, gás natural etc.), além de provocar um sério desequilíbrio no meio ambiente, destruindo os organismos responsáveis pelo reaproveitamento do gás carbônico.

Os organismos responsáveis pelo reaproveitamento da matéria são os fungos e as bactérias.

Como resultado do aumento da concentração de  $\text{CO}_2$  na atmosfera, a temperatura média do planeta poderá aumentar de maneira alarmante, o que provocará danos terríveis à Terra. A tal fenômeno dá-se o nome de efeito estufa.



O bombeiro da foto está usando um traje forrado com material mau condutor de calor (asbesto ou lã de vidro, por exemplo). A cobertura aluminizada da roupa é para refletir a radiação térmica.



### O AVIÃO INVISÍVEL

O caça norte-americano F-117A Stealth foi projetado de forma que sua geometria e os materiais que recobrem sua superfície o tornem extremamente absorvente às radiações, especialmente na banda de frequência do radar, o que torna extremamente difícil sua detecção por sistemas de defesa aérea, daí o título de “avião invisível”.

## Exercícios Resolvidos

1 Sobre uma garrafa térmica (Vaso de Dewar), podemos afirmar:

- O vácuo existente entre as paredes duplas de vidro tem por finalidade evitar trocas de calor por condução.
- Para evitar trocas de calor por convecção, basta fechar a garrafa.

- O espelhamento existente nas faces internas e externas das paredes duplas de vidro minimiza as trocas de calor por radiação.
- Entre as paredes duplas de vidro, é feito vácuo para evitar trocas de calor por condução e por convecção.

São corretas:

- todas
- apenas I e III
- apenas II e IV
- I, II e III
- II, III e IV

### Resolução

- VERDADEIRA.
- VERDADEIRA.

III) VERDADEIRA.

IV) FALSA.

Na convecção, partículas trocam de posição e a energia térmica acompanha esse movimento, junto com as partículas.

**Resposta: D**

**2** Usando a teoria de **transmissão de calor** que você aprendeu, analise as afirmativas dadas a seguir e dê como resposta a soma daquelas que você considera corretas.

(01) A sensação de frio que uma pessoa sente está relacionada à rapidez com que ela perde calor para o meio ambiente.

(02) Um pássaro eriça suas penas no inverno para manter ar entre elas, evitando, assim, que haja transferência de calor do seu corpo para o meio ambiente.

(04) Nas mesmas condições, um corpo escuro absorve maior quantidade de radiação

térmica do que um corpo claro.

(08) Entre as paredes de vidro de uma garrafa térmica (**Vaso de Dewar**), faz-se vácuo para evitar trocas de calor com o meio ambiente, por **condução** e por **convecção**.

(16) Uma garrafa térmica, com café quente em seu interior, deve permanecer bem fechada para evitar trocas de calor com o meio externo, por **convecção**.

(32) Numa geladeira doméstica, as prateleiras devem ser grades vazadas para permitirem a **condução** do calor dos alimentos para o congelador.

(64) O congelador de uma geladeira doméstica fica sempre na parte superior para receber o ar aquecido que, por **convecção**, leva a energia térmica absorvida dos corpos.

**Resolução**

(01) VERDADEIRA

(02) VERDADEIRA

O ar é péssimo condutor de calor.

(04) VERDADEIRA

Os corpos claros refletem a maior parte da energia radiante incidente.

(08) FALSA

O vácuo impede a transmissão de calor por condução.

No vácuo, não existe a convecção. Para evitar a saída de energia térmica por convecção, basta fechar bem a garrafa.

(16) VERDADEIRA

(32) FALSA

As grades vazadas permitem que o ar transite dentro da geladeira, permitindo que o calor chegue ao congelador por **convecção**.

(64) VERDADEIRA

**Resposta: 87**

## Exercícios Propostos

**1 (ENEM)** – O uso mais popular de energia solar está associado ao fornecimento de água quente para fins domésticos. Na figura abaixo, é ilustrado um aquecedor de água constituído de dois tanques pretos dentro de uma caixa termicamente isolada e com cobertura de vidro, os quais absorvem energia solar.



A. Hinrichs e M. Klembach. **Energia e meio ambiente**. São Paulo: Thompson, 3ª ed. 2004 p. 525 (com adaptações).

Nesse sistema de aquecimento,

- os tanques, por serem de cor preta, são maus absorvedores de calor e reduzem as perdas de energia.
- a cobertura de vidro deixa passar a energia luminosa e reduz a perda de energia térmica utilizada para o aquecimento.
- a água circula devido à variação de energia luminosa existente entre os pontos X e Y.
- a camada refletiva tem como função armazenar energia luminosa.
- o vidro, por ser bom condutor de calor, permite que se mantenha constante a temperatura no interior da caixa.

**RESOLUÇÃO:**

- FALSA: por serem pretos, os tanques são bons absorvedores de calor.**
- VERDADEIRA: o vidro é transparente às radiações eletromagnéticas visíveis e é opaco às radiações infravermelhas (radiações térmicas), reduzindo a perda de energia térmica.**
- FALSA: a água circula por convecção térmica.**

**d) FALSA: o vidro retém, por reflexão, a energia ligada às radiações infravermelhas.**

**e) FALSA: o vidro é mau condutor de calor.**

**Resposta: B**

**2 (UFPEL-MODELO ENEM)** – Uma pessoa, ao comprar uma geladeira e ler as instruções de uso, encontrou as seguintes recomendações:

- Degelar semanalmente o refrigerador, de modo a evitar o acúmulo de gelo no congelador.
  - Não forrar as prateleiras com chapas de papelão ou outro material.
  - Não colocar roupas para secar atrás da geladeira.
- Analisando, fisicamente, cada uma das recomendações, dizendo se os fabricantes têm ou não razão.

**RESOLUÇÃO:**

**1ª) CORRETA. O gelo é péssimo condutor de calor. O acúmulo de gelo ao redor do congelador prejudica o resfriamento interno da geladeira.**

**2ª) CORRETA. As trocas de calor no interior da geladeira se processam por convecção do ar. Forrando as prateleiras, estamos prejudicando essa convecção.**

**3ª) CORRETA. O calor retirado do interior da geladeira é irradiado para o meio ambiente pela serpentina existente na parte traseira. Roupas lá colocadas prejudicam essa irradiação, podendo queimar o motor da geladeira.**

**Respostas: 1ª) CORRETA 2ª) CORRETA 3ª) CORRETA**

**3 (UEPA-MODELO ENEM)** – Até o início do século XIX, acreditava-se que a temperatura de um corpo estava associada a uma substância fluida, invisível e de peso desprezível, denominada calórico, contida no interior do corpo. No decorrer do mesmo século, essas ideias foram contestadas e, por meio de algumas experiências, a exemplo de uma realizada pelo físico inglês James Prescott Joule (1818-1889), identificou-se definitivamente o calor como energia. Com base nas informações contidas no texto acima e em suas experiências diárias, analise as seguintes proposições:

- I. Quando colocamos a mão na maçaneta e na madeira de uma porta, a sensação distinta de quente e frio está associada à diferença de temperatura entre ambas.
- II. Ao colocar a mão embaixo de uma panela retirada do fogo a uma certa distância, tem-se a sensação de quente, uma vez que a troca de calor neste processo dá-se por convecção.
- III. Retirando-se da geladeira uma lata e uma garrafa (de vidro) de refrigerante em equilíbrio térmico, tem-se a impressão de que a lata está mais fria que a garrafa. Esta sensação diferenciada é explicada por a lata, que geralmente é de alumínio, apresentar maior coeficiente de condutividade térmica do que a garrafa de vidro.
- IV. As garrafas térmicas são constituídas de um recipiente de vidro de paredes duplas, espelhadas interna e externamente. A quase inexistência de ar entre as paredes dificulta a propagação do calor por condução.

A partir da análise feita, assinale a alternativa correta:

- a) Todas as proposições são verdadeiras
- b) Apenas as proposições I e III são verdadeiras
- c) Apenas as proposições II e III são verdadeiras
- d) Apenas as proposições II e IV são verdadeiras
- e) Apenas as proposições III e IV são verdadeiras

**RESOLUÇÃO:**

- I) **FALSA.** A porta de madeira e a maçaneta encontram-se na mesma temperatura. A sensação de frio é maior ao tocarmos na maçaneta devido ao maior coeficiente de condutibilidade térmica do metal.
- II) **FALSA.** A convecção do ar quente é para cima (menor densidade). Assim, se colocarmos a mão embaixo da panela, a sensação de quente é devida à radiação. Energia emitida pelo fundo da panela em forma de radiação infravermelha.
- III) **VERDADEIRA.**
- IV) **VERDADEIRA.**

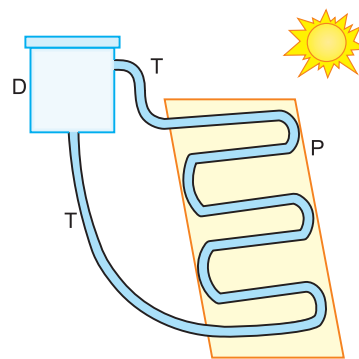
**Resposta: E**



**No Portal Objetivo**

Para saber mais sobre o assunto, acesse o **PORTAL OBJETIVO** ([www.portal.objetivo.br](http://www.portal.objetivo.br)) e, em "localizar", digite **FIS2M201**

**4 (FUVEST-SP-MODELO ENEM)** – A figura a seguir ilustra um sistema de aquecimento solar: uma placa metálica P pintada de preto e, em contato com ela, um tubo metálico encurvado, um depósito de água D e tubos de borracha T ligando o depósito ao tubo metálico.

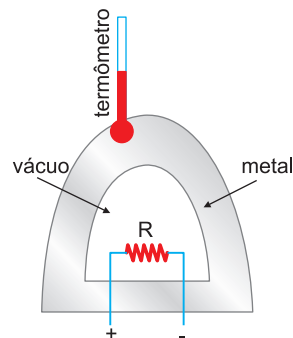


O aquecimento da água no depósito D, pela absorção da energia solar, é devido basicamente aos seguintes fenômenos, pela ordem:

- a) condução, irradiação, convecção.
- b) irradiação, condução, convecção.
- c) convecção, condução, irradiação.
- d) condução, convecção, irradiação.
- e) irradiação, convecção, condução.

**Resposta: B**

**5 (UFV-MG-MODELO ENEM)** – Um resistor R é colocado dentro de um recipiente de parede metálica, no qual é feito vácuo, e que possui um termômetro incrustado em sua parede externa. Para ligar o resistor a uma fonte externa ao recipiente, foi utilizado um fio, com isolamento térmico, que impede a transferência de calor para as paredes do recipiente. Essa situação encontra-se ilustrada na figura abaixo.



Ligando o resistor, nota-se que a temperatura indicada pelo termômetro aumenta, mostrando que há transferência de calor entre o resistor e o termômetro. Pode-se afirmar que os processos responsáveis por essa transferência de calor, na ordem correta, são

- a) primeiro convecção e depois radiação.
- b) primeiro convecção e depois condução.
- c) primeiro radiação e depois convecção.
- d) primeiro radiação e depois condução.
- e) primeiro condução e depois convecção.

**RESOLUÇÃO:**

**Na região de vácuo, a energia térmica propaga-se por radiação. Através do metal (meio sólido), o calor propaga-se por condução.**

**Resposta: D**

**Observação: Comentar também a convecção e deixar claro que esta só ocorre quando há gravidade no local.**

# FÍSICA

## Óptica - Módulos

- 17 – Dioptro plano I
- 18 – Dioptro plano II
- 19 – Lâmina de faces paralelas I
- 20 – Lâmina de faces paralelas II
- 21 – Prismas ópticos I
- 22 – Prismas ópticos II
- 23 – Lentes esféricas
- 24 – Lentes esféricas – Construções de imagens
- 25 – Lentes esféricas – Equação de Gauss
- 26 – Lentes esféricas – Aumento
- 27 – Vergência de uma lente
- 28 – Lentes esféricas – Equação de Halley
- 29 – Óptica da visão I
- 30 – Óptica da visão II
- 31 – Instrumentos de óptica I
- 32 – Instrumentos de óptica II



Os fenômenos ópticos, como a reflexão, a refração, a absorção e a dispersão, podem ocorrer simultaneamente.

Módulo

17

## Dioptro plano I

Palavras-chave:

- Refração • Posição aparente

### 1. Definição

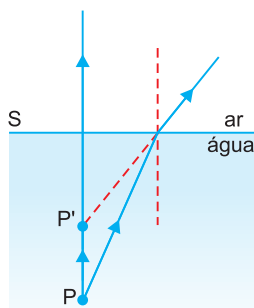
**Dioptro plano** é um conjunto de dois meios homogêneos e transparentes delimitados por uma superfície plana.

Exemplo: o conjunto constituído pelo ar e pela água límpida e tranqüila de um lago. O ar e a água, para que haja homogeneidade e transparência, são considerados em pequenas camadas.

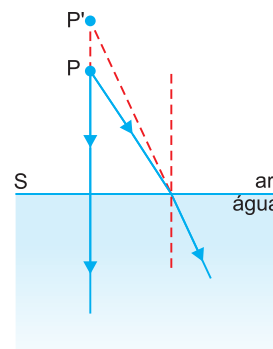
### 2. Formação de imagens

Considerando, por exemplo, o dioptro plano ar-água, temos:

Ponto objeto real P na água



Ponto objeto real P no ar



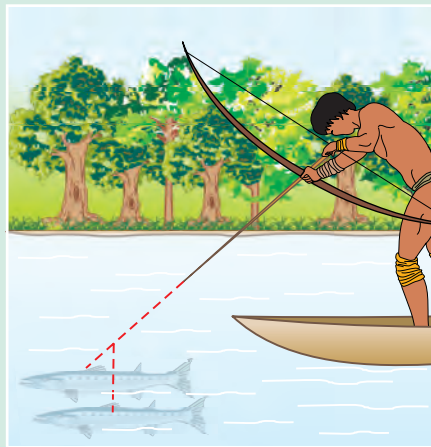
Os esquemas apresentados mostram que:

*No dioptro plano, objeto e imagem ficam sempre do mesmo lado em relação à superfície S e têm naturezas opostas.*



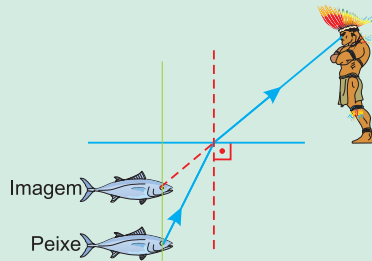
## Exercícios Resolvidos

1 Na chegada dos portugueses, em 1500, o índio brasileiro pescava com arco e flecha e sabia que se atirasse na imagem que via, não acertaria o peixe, que se encontrava um pouco mais abaixo, como mostra a figura abaixo.

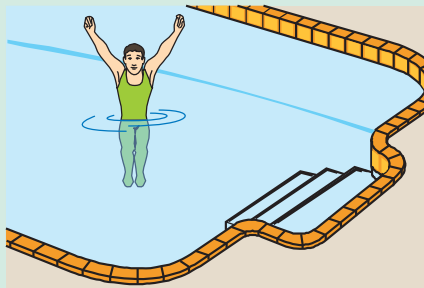


Esquematize a trajetória do raio de luz que sai do olho do peixe e atinge o olho do índio e localize a imagem vista pelo último.

### Resolução



2 (MODELO ENEM) – Observe a figura abaixo:



O menino tem parte de seu corpo mergulhada nas águas tranquilas e transparentes de uma piscina.

Considere e julgue as proposições que se seguem:

- I) As pernas do menino parecem mais curtas para um observador nas bordas da piscina.
- II) Se o garoto mergulhar, verá os azulejos da borda da piscina maiores do que realmente são.
- III) A velocidade da luz tem módulo menor na água que no ar.
- IV) O ar é menos refringente que a água.

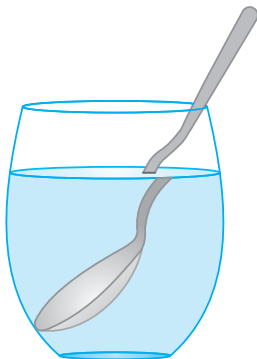
São corretas

- a) I, II e III, apenas.
- b) I, III e IV, apenas.
- c) I, II, III e IV.
- d) I e II, apenas.
- e) II e IV, apenas.

Resposta: C

## Exercícios Propostos

1 (UFSC-SC) – 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 lembrar alguns conceitos relacionados à luz, quando ele 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 de propagação da luz muda na passagem do ar para a água.
- 08. a intensidade da velocidade da luz na água e no ar é a mesma.
- 16. a luz é refratada ao passar do ar para a água.

Dê como resposta a soma dos números associados às proposições corretas.

### RESOLUÇÃO:

01) ERRADA.

A luz tem comportamento dual, podendo apresentar caráter corpuscular em alguns fenômenos e ondulatório em outros.

02) ERRADA.

A intensidade da velocidade da luz é inversamente proporcional ao índice absoluto de refração do meio em que ela se propaga.

$$v = \frac{c}{n}$$

04) CORRETA.

O efeito observado é explicado pela refração da luz nos elementos do sistema.

08) ERRADA.

A velocidade da luz na água tem intensidade menor que no ar.

16) CORRETA.

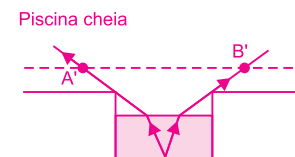
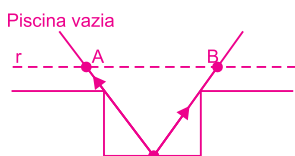
Refração é o fenômeno que consiste em uma onda passar de um meio para outro.

Resposta: 20

**2 (FUVEST)** – Um pássaro que sobrevoa em linha reta e a baixa altitude vê uma piscina em cujo fundo se encontra uma pedra. Podemos afirmar que

- com a piscina cheia o pássaro poderá ver a pedra durante um intervalo de tempo maior do que se a piscina estivesse vazia.
- com a piscina cheia ou vazia o pássaro poderá ver a pedra durante o mesmo intervalo de tempo.
- o pássaro somente poderá ver a pedra enquanto estiver voando sobre a superfície da água.
- o pássaro, ao passar sobre a piscina, verá a pedra numa posição mais profunda do que aquela em que ela realmente se encontra.
- o pássaro nunca poderá ver a pedra.

**RESOLUÇÃO:**



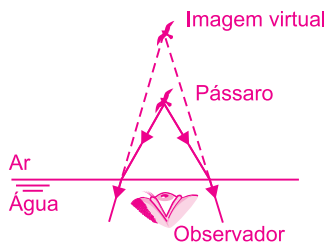
$\overline{A'B'} > \overline{AB}$   
Aumento do campo visual do pássaro em relação ao fundo da piscina.

**Resposta: A**

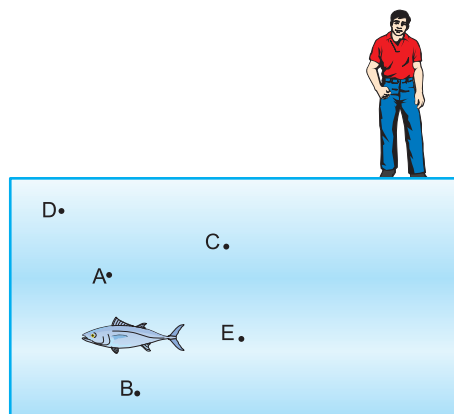
**3** Um mergulhador encontra-se imerso em uma piscina, e vê um pássaro sobrevoando-a. O pássaro na realidade está mais baixo ou mais alto do que a altura aparente observada pelo mergulhador? Esquematize.

**RESOLUÇÃO:**

O pássaro encontra-se abaixo da posição em que é visto.



**4 (UFV-MODELO ENEM)** – A figura abaixo ilustra uma pessoa observando um peixe que se encontra no fundo de um tanque de vidro cheio de água. As paredes do tanque têm espessura desprezível.

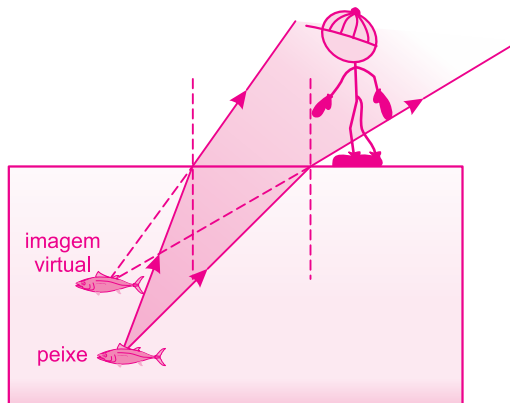


De acordo com a Lei de Snell, é correto afirmar que a imagem do peixe que essa pessoa vê está mais próxima do ponto:

- A
- B
- C
- D
- E

**RESOLUÇÃO:**

A pessoa contempla uma imagem virtual do peixe a uma profundidade aparente menor que a profundidade real. Isso ocorre porque, ao refratar-se obliquamente da água para o ar, a luz afasta-se da normal, conforme ilustra o esquema a seguir. Esse fato pode ser justificado pela Lei de Snell.



**Resposta: A**

- Visões diferentes
- $\frac{n_{\text{observador}}}{n_{\text{objeto}}} = -\frac{p'}{p}$

## 1. Equação de Gauss para os dioptrios planos

Sejam:

$p$ : distância do objeto  $P$  à superfície  $S$ .

$p'$ : distância da imagem  $P'$  à superfície  $S$ .

$n$ : índice de refração absoluto do meio onde está o objeto  $P$ .

$n'$ : índice de refração absoluto do outro meio.

Para raios de luz próximos à reta normal à superfície  $S$  e passando por  $P$  (condições de aproximação de Gauss), temos:

$$\frac{n}{p} = \frac{n'}{p'}$$

### Demonstração

Pela Lei de Snell-Descartes, temos:

$$n \sin i = n' \sin r$$

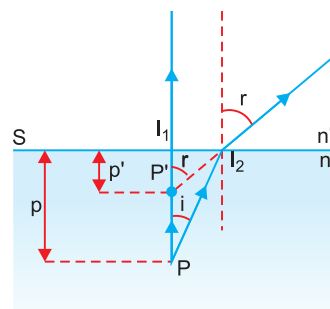
Nas condições de aproximação de Gauss (ângulos  $i$  e  $r$  muito pequenos), temos:

$$\sin i \cong \text{tg } i \text{ e } \sin r \cong \text{tg } r$$

$$\text{Portanto: } n \cdot \text{tg } i = n' \cdot \text{tg } r$$

$$n \cdot \frac{l_1 l_2}{p} = n' \cdot \frac{l_1 l_2}{p'}$$

$$\frac{n}{p} = \frac{n'}{p'}$$



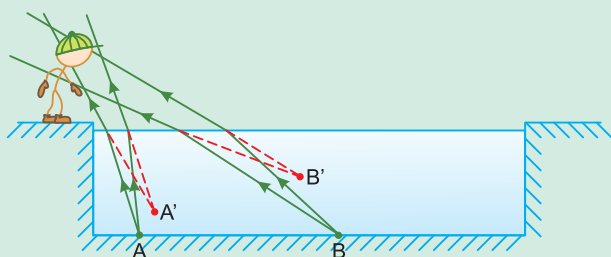
## Exercícios Resolvidos

**1 (UFV-MODELO ENEM)** – Quando nos aproximamos da borda de uma piscina e olhamos para o fundo, geralmente observamos que a piscina parece ser mais rasa do que realmente ela é. Isto acontece devido ao fenômeno óptico denominado:

- dispersão da luz.
- reflexão da luz.
- refração da luz.
- difração da luz.

### Resolução

O esquema abaixo justifica a situação descrita.

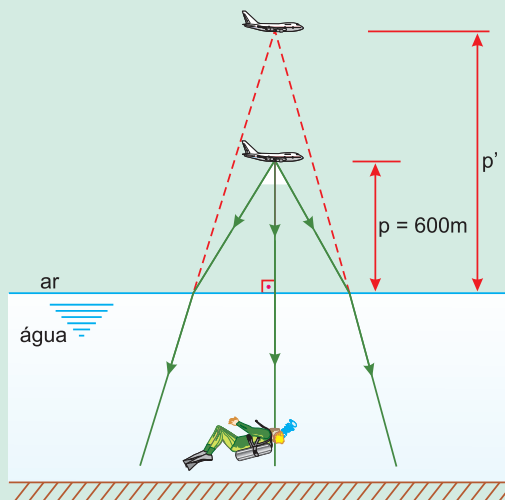


Convém destacar que a profundidade aparente do ponto  $B$  é menor que a do ponto  $A$ . Isso mostra que a medida que o observador dirige seu olhar para pontos do fundo da piscina, suposta de profundidade constante, mais afastados de sua posição, mais rasa esta lhe parecerá.

### Resposta: C

**2** Um mergulhador imerso nas águas de um lago observa um avião no instante em que ambos estão aproximadamente na mesma vertical. O avião está a 600m acima da superfície da água, cujo índice de refração admite-se igual a  $4/3$ . A que altura da superfície da água o avião aparenta estar, em relação ao mergulhador?

### Resolução



$$p' = \frac{n_{\text{vai}}}{n_{\text{vem}}} p \Rightarrow p' = \frac{n_{\text{água}}}{n_{\text{ar}}} p$$

$$p' = \frac{4/3}{1} \cdot 600 \text{ (m)} \Rightarrow \boxed{p' = 800\text{m}}$$

Resposta: 800m

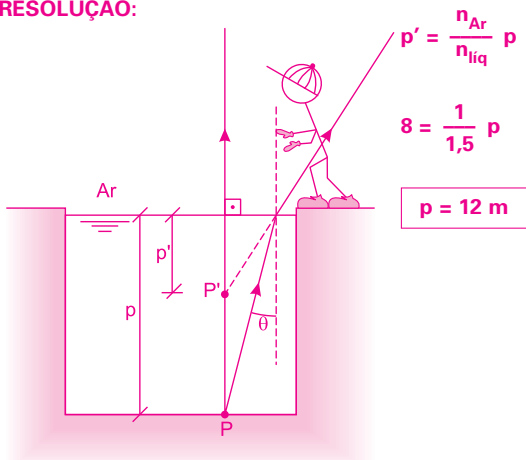
## Exercícios Propostos

**1 (VUNESP)** – Um objeto encontra-se no fundo de um tanque de provas, emitindo um feixe luminoso que forma um pequeno ângulo  $\theta$  com a vertical, permitindo ser visto por um funcionário próximo à borda do tanque. Se a profundidade aparente com que esse funcionário vê o objeto luminoso é de 8 metros, pode-se deduzir que a profundidade real do tanque é, em metros,

**Dados:** índice de refração do líquido: 1,5  
índice de refração do ar: 1  
 $\theta \cong \text{tg } \theta \cong \text{sen } \theta$

- a) 5      b) 6      c) 10      d) 12      e) 15

**RESOLUÇÃO:**

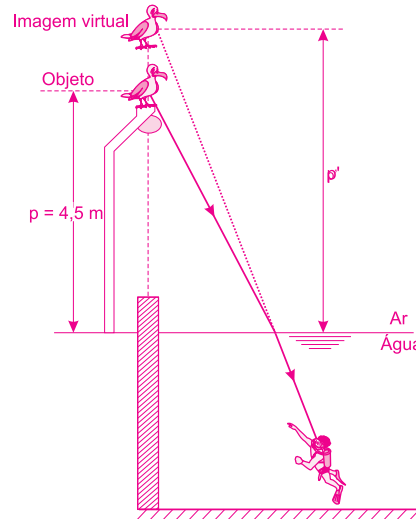


**Resposta: D**

**2** Um mergulhador, imóvel e imerso na água de uma piscina, vê um pássaro pousado no topo de um poste, numa direção quase vertical. Sendo de  $4/3$  o índice de refração absoluto da água e de 4,5m a altura do poste, cuja base está à beira da piscina e no nível da água, determine a altura aparente onde está o pássaro visto pelo mergulhador.

**RESOLUÇÃO:**

Como o objeto está numa direção quase vertical em relação ao mergulhador, é válida a Equação de Gauss para o dióptro plano.

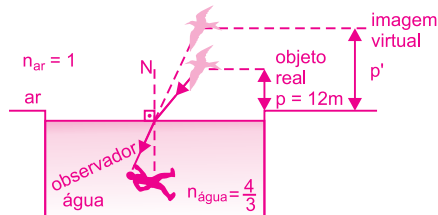


**Resposta: 6,0m**

**3 (MACKENZIE-MODELO ENEM)** – Um mergulhador que se acha a 2,0m de profundidade abaixo da superfície da água, cujo índice de refração absoluto é  $4/3$ , olha para um pássaro que está voando a 12m de altura em relação à superfície líquida. Para esse mergulhador, a altura aparente do pássaro em relação à superfície da água é igual a:

- a) 16m      b) 12m      c) 9,0m      d) 8,0m      e) 6,0m

**RESOLUÇÃO:**



Pela Equação de Gauss para o dióptro plano, temos:

$$\frac{n}{p} = \frac{n'}{p'}$$

Em que  $n' \rightarrow$  índice de refração absoluto do meio onde está o observador.

$n \rightarrow$  índice de refração absoluto do meio onde está o objeto.

$$\frac{n_{\text{obj}}}{p} = \frac{n_{\text{obs}}}{p'} \Rightarrow \frac{n_{ar}}{p} = \frac{n_{\text{água}}}{p'} \Rightarrow \frac{1,0}{12} = \frac{\frac{4}{3}}{p'}$$

$$p' = 16 \text{ m}$$

**Resposta: A**

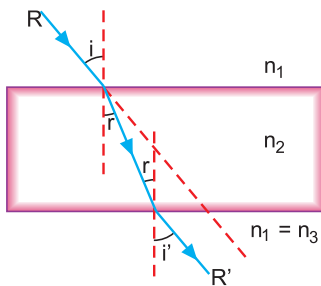
Denomina-se **lâmina de faces paralelas** uma associação de dois dioptrios planos cujas superfícies dióptricas são paralelas.

O caso mais comum é aquele em que  $n_2 > n_1 = n_3$ . É, por exemplo, uma lâmina de vidro imersa no ar.

meio 1	$n_1$
meio 2	$n_2$
meio 3	$n_3$

### Trajeto de um raio de luz ao atravessar a lâmina

Na figura a seguir, representamos o trajeto de um raio de luz monocromática que atravessa a lâmina, no caso  $n_2 > n_1 = n_3$ .

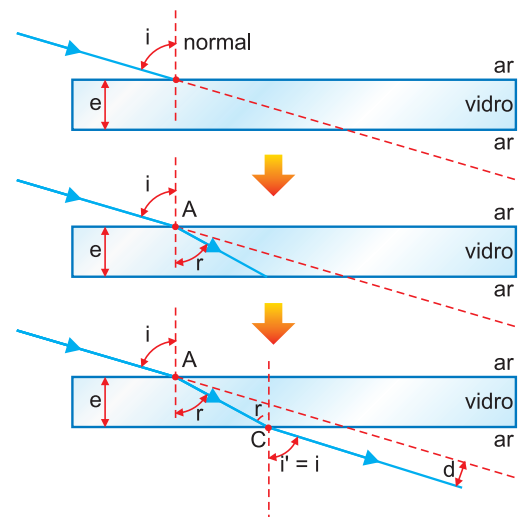


Note, nesse caso ( $n_1 = n_3$ ), que  $i' = i$ . Isso significa que:

**Os raios incidente (R) e emergente (R') são paralelos, quando a lâmina está envolta por um mesmo meio homogêneo e transparente.**

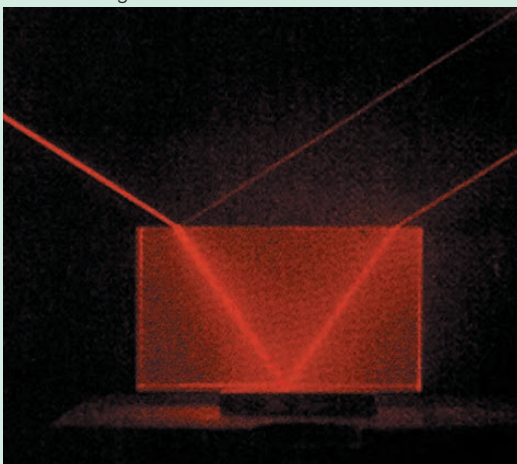
Nessa situação, o raio de luz que atravessa a lâmina não sofre desvio angular, mas sofre **desvio lateral** d.

Observe o esquema completo:



### Exercício Resolvido

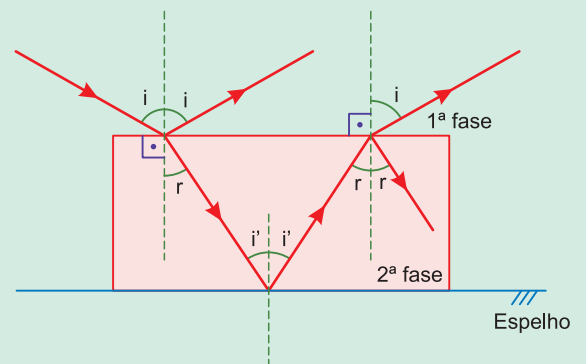
1 Observe a figura abaixo.



Feixe de luz incidindo numa lâmina de vidro. Observe os fenômenos de reflexão e refração.

Copie o perfil da lâmina, os feixes de luz e indique os ângulos de incidência, reflexão e refração que forem necessários, na primeira e na segunda faces da lâmina.

**Resolução**

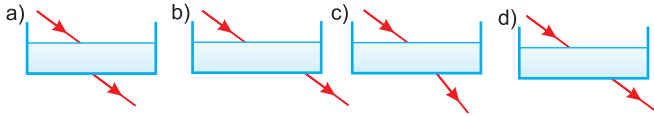


## Exercícios Propostos

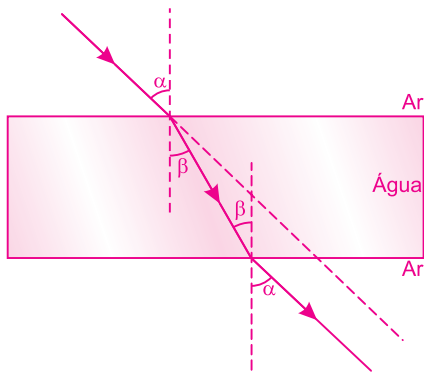
**1 (UFMG)** – Um feixe de luz, vindo do ar, incide sobre um aquário de vidro com água.

Sabe-se que a velocidade da luz é menor na água e no vidro que no ar.

Com base nessas informações, assinale a alternativa em que **melhor** se representa a trajetória do feixe de luz, entrando e saindo do aquário.



**RESOLUÇÃO:**



Na figura acima, está representada a trajetória da luz ao atravessar a lâmina de água de faces paralelas, envolvida pelo ar.

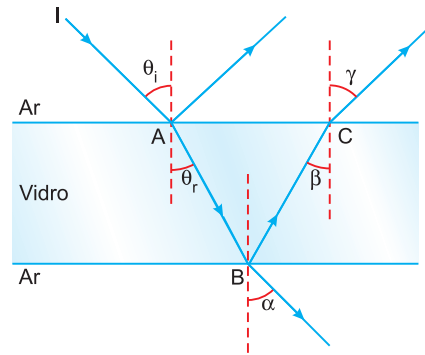
Deve-se notar que a água é mais refringente que o ar, já que, na água, a luz propaga-se com velocidade menor que no ar.

Deve-se observar também que, ao refratar-se obliquamente do ar para a água, o raio luminoso aproxima-se da normal, ocorrendo o contrário na emergência da água para o ar.

É importante destacar que, num caso como este, o raio emergente é paralelo ao raio incidente.

Resposta: A

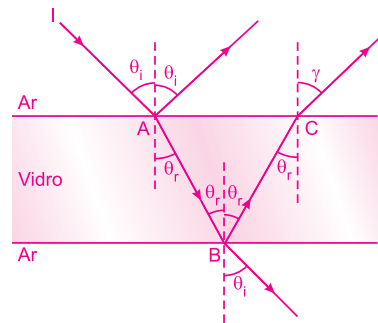
**2 (UFRGS)** – Na figura a seguir, um feixe de luz monocromática **I**, proveniente do ar, incide sobre uma placa de vidro de faces planas e paralelas, sofrendo reflexões e refrações em ambas as faces da placa. Na figura,  $\theta_i$  representa o ângulo formado pela direção do feixe incidente com a normal à superfície no ponto **A**, e  $\theta_r$  representa o ângulo formado pela direção da parte refratada desse feixe com a normal no mesmo ponto **A**.



Pode-se afirmar que os ângulos  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$  definidos na figura são, pela ordem, iguais a:

- a)  $\theta_r$ ,  $\theta_r$  e  $\theta_i$       b)  $\theta_r$ ,  $\theta_i$  e  $\theta_r$       c)  $\theta_r$ ,  $\theta_i$  e  $\theta_r$   
 d)  $\theta_r$ ,  $\theta_r$  e  $\theta_i$       e)  $\theta_r$ ,  $\theta_i$  e  $\theta_i$

**RESOLUÇÃO:**

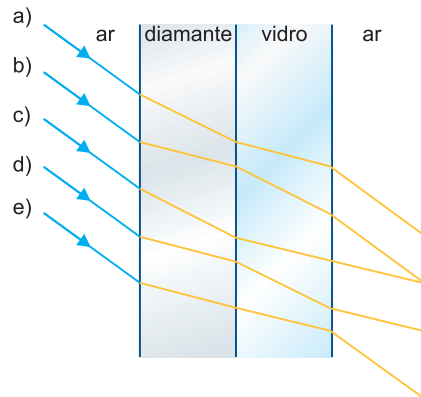


$\alpha = \theta_i$  (o raio emergente é paralelo ao raio incidente)

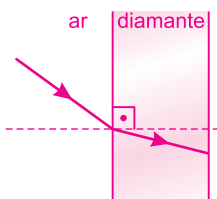
$\beta = \theta_r$        $\gamma = \theta_i$

Resposta: A

**3 (FUVEST-MODELO ENEM)** – Um feixe de luz monocromática incide sobre lâminas paralelas de diamante e vidro, como representado na figura. Sendo os índices de refração absolutos de 2,42 para o diamante e 1,52 para o vidro, qual das linhas da figura melhor representa a trajetória do feixe luminoso?

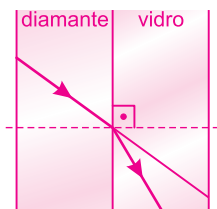


**RESOLUÇÃO:**



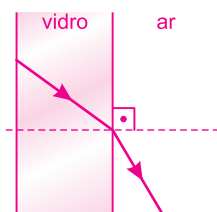
Ao passar do ar para o diamante, o raio aproxima-se da normal.

$$n_{\text{Ar}} < n_{\text{diamante}}$$



Na passagem do diamante para o vidro, o raio afasta-se da normal.

$$n_{\text{diamante}} > n_{\text{vidro}}$$

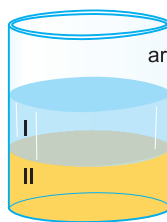


O vidro é mais refringente que o ar ( $n_{\text{vidro}} > n_{\text{ar}}$ ) e o raio afasta-se da normal.

Resposta: B

**4 (VUNESP) –** Observe a tabela:

Substância líquida (ordem alfabética)	Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	Índice de refração em relação ao ar
água	1,00	1,33
dissulfeto de carbono	1,26	1,63



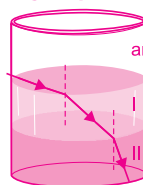
Volumes iguais desses dois líquidos foram colocados cuidadosamente em um recipiente cilíndrico de grande diâmetro, mantido em repouso sobre uma superfície horizontal, formando-se duas camadas distintas, I e II, de mesma altura, conforme figura.

- Qual dessas substâncias forma a camada I? Justifique sua resposta.
- Um raio de luz incide com ângulo  $i > 0^\circ$  num ponto da superfície do líquido I e se refrata, sucessivamente, nas duas superfícies de separação, atingindo o fundo do recipiente. Copie a figura e esboce qualitativamente a trajetória desse raio, desde o ar até o fundo do recipiente.

**RESOLUÇÃO:**

a) A água, pois é menos densa que o dissulfeto.

b)



**Módulo**

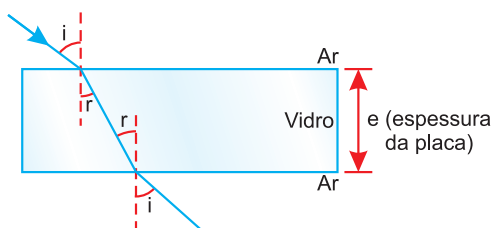
**20**

**Lâmina de faces paralelas II**

**Palavras-chave:**

- Velocidade varia
- Reflexões e refrações

Considere uma lâmina de faces paralelas de vidro imersa no ar atravessada por um raio de luz monocromática que incide obliquamente numa das faces.



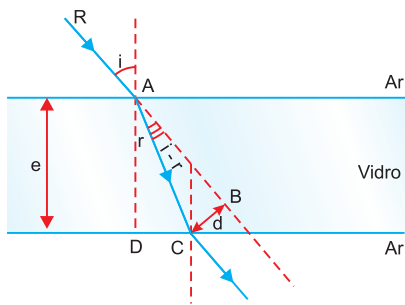
As refrações nas duas faces podem ser equacionadas de acordo com a Lei de Snell-Descartes:

$$n_{\text{ar}} \cdot \text{sen } i = n_{\text{vidro}} \cdot \text{sen } r$$

**Desvio lateral**

No triângulo ABC, temos:

$$\text{sen } (i - r) = \frac{d}{AC} \quad (1)$$



Seja AD a espessura  $e$  da lâmina, vem:

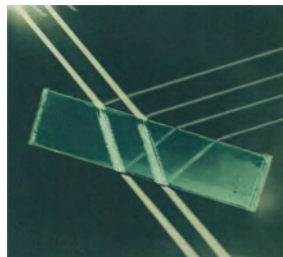
$$\cos r = \frac{e}{AC} \quad (2)$$

De (1) e (2), resulta:

$$d = e \frac{\sin(i - r)}{\cos r}$$

No triângulo ACD, temos:

$$\cos r = \frac{AD}{AC}$$



Trajeto da luz ao atravessar uma lâmina de vidro imersa no ar. Observe que em cada incidência da luz, há uma parcela de luz refletida, além da correspondente parcela refratada.

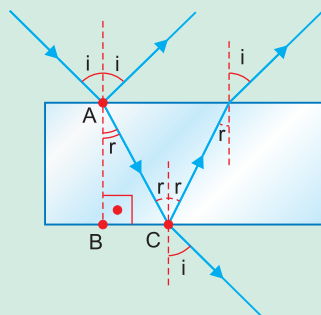
## Exercício Resolvido

**1 (FUVEST)** – Um raio luminoso proveniente do ar atinge uma lâmina de vidro de faces paralelas com 8,0cm de espessura e índice de refração absoluta igual a 1,5. Este raio sofre refração ao atingir a primeira superfície; refração e reflexão ao atingir a segunda superfície (interna).

- Trace as trajetórias dos raios: incidente, refratados e refletidos.
- Determine o tempo para o raio atravessar a lâmina, sendo o seno do ângulo de incidência igual a 0,90.  
Dado:  $c = 3,0 \cdot 10^8$  m/s.

### Resolução

- Na figura, temos um traçado completo dos raios de luz participantes do fenômeno.



- Determinemos, inicialmente, o módulo da velocidade da luz ao se propagar na lâmina, através do índice de refração absoluto do vidro.

$$n = \frac{c}{V} \Rightarrow 1,5 = \frac{3,0 \cdot 10^8}{V}$$

$$V = 2,0 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

No interior da lâmina, o segmento de reta  $\overline{AC}$  determina a distância  $\Delta s$  percorrida pela luz. Para encontrar seu valor, apliquemos a Lei de Snell-Descartes à primeira face.

$$n_{\text{ar}} \sin i = n_{\text{vidro}} \cdot \sin r$$

$$1,0 \cdot 0,90 = 1,5 \cdot \sin r$$

$$\sin r = \frac{3,0}{5,0} = 0,60$$

Da Trigonometria, obtém-se:

$$\sin^2 r + \cos^2 r = 1$$

$$(0,60)^2 + \cos^2 r = 1$$

$$\cos^2 r = 1 - 0,36 = 0,64$$

$$\cos r = 0,80$$

No triângulo ABC da figura, temos:

$$\cos r = \frac{\overline{AB}}{\overline{AC}} \Rightarrow 0,80 = \frac{8,0}{\overline{AC}}$$

$$\overline{AC} = 10 \text{ cm} = 0,10 \text{ m}$$

Portanto, para a determinação do intervalo de tempo ( $\Delta t$ ), temos:

$$V = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

$$2,0 \cdot 10^8 = \frac{0,10}{\Delta t}$$

$$\Delta t = 5,0 \cdot 10^{-10} \text{ s}$$

Respostas: a) ver figura  
b)  $5,0 \cdot 10^{-10}$  s

## Exercícios Propostos

**1** Um raio de luz, propagando-se no ar, incide numa lâmina de faces paralelas, feita de um material cujo índice de refração absoluto vale  $\sqrt{3}$ ; a incidência na superfície da lâmina se dá sob um ângulo de  $60^\circ$  com a reta normal.

Se a lâmina tem espessura de 4,0cm, pede-se:

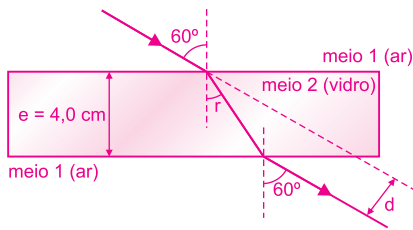
- desenhar a trajetória do raio de luz até a emergência da lâmina;
- calcular o ângulo de refração interno à lâmina;
- calcular o desvio lateral sofrido pelo raio de luz.

Dado:  $n_{\text{ar}} = 1$



**RESOLUÇÃO**

a) Como o meio envolvente é o ar, vem:



b) Aplicando a Lei de Snell à primeira face, vem:

$$n_1 \operatorname{sen} i = n_2 \operatorname{sen} r$$

$$1,0 \cdot \operatorname{sen} 60^\circ = \sqrt{3} \cdot \operatorname{sen} r$$

$$1,0 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = \sqrt{3} \operatorname{sen} r \Rightarrow \operatorname{sen} r = 0,50 \Rightarrow \boxed{r = 30^\circ}$$

c) Utilizando a expressão do desvio, temos:

$$d = \frac{e \operatorname{sen} (i - r)}{\cos r}$$

$$d = \frac{4,0 \operatorname{sen} (60^\circ - 30^\circ)}{\cos 30^\circ} \text{ (cm)}$$

$$d = \frac{4,0 \operatorname{sen} 30^\circ}{\cos 30^\circ}$$

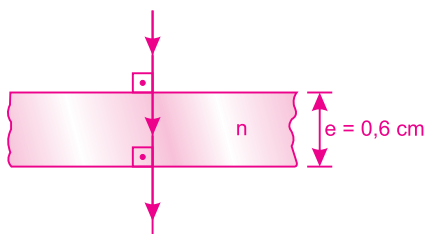
$$d = 4,0 \operatorname{tg} 30^\circ \text{ (cm)}$$

$$d = \frac{4,0 \sqrt{3}}{3} \text{ cm} \Rightarrow \boxed{d \cong 2,3 \text{ cm}}$$

**Resposta: 2,3 cm**

**2 (UNITAU)** – Uma lâmina de vidro tem 0,6 cm de espessura e um índice de refração de 1,55. Sabendo que a velocidade da luz no vácuo é de  $3 \cdot 10^8 \text{ km/s}$ , um pulso de luz, ao passar perpendicularmente através da lâmina, demora:

- a)  $2,0 \cdot 10^{-10} \text{ s}$       b)  $3,0 \cdot 10^{-10} \text{ s}$       c)  $3,1 \cdot 10^{-11} \text{ s}$   
 d)  $4,2 \cdot 10^{-11} \text{ s}$       e)  $3,1 \cdot 10^5 \text{ s}$

**RESOLUÇÃO:**

(I) Cálculo da intensidade da velocidade da luz no vidro:

$$n = \frac{c}{V}$$

$$1,55 = \frac{3 \cdot 10^8}{V}$$

$$\boxed{V = \frac{3}{1,55} \cdot 10^8 \text{ m/s}}$$

(II) Cálculo do intervalo de tempo de travessia da lâmina:

$$V = \frac{e}{T} \Rightarrow \frac{3}{1,55} \cdot 10^8 = \frac{0,6 \cdot 10^{-2}}{T}$$

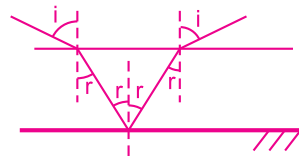
$$\text{Da qual: } \boxed{T = 3,1 \cdot 10^{-11} \text{ s}}$$

**Resposta: C**

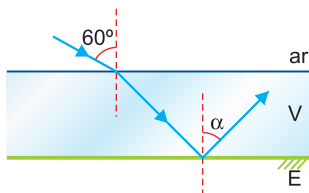
**3 (UEFS-MODELO ENEM)** – Uma lâmina de faces paralelas, construída de forma que uma das suas faces é espelhada internamente, está imersa no ar. Um raio luminoso, propagando-se no ar, incide com ângulo  $i$  na face não espelhada e é refratado. Em seguida, o raio é refletido na face espelhada e volta ao ar, depois de ser novamente refratado.

O ângulo de refração, no retorno do raio luminoso da lâmina para o ar, é igual a:

- a)  $i/2$       b)  $i$       c)  $3i/2$       d)  $2i$       e)  $5i/2$

**RESOLUÇÃO:****Resposta: B**

4 (PUC-PR) – Uma superfície espelhada e plana E é recoberta por uma lâmina de vidro V de faces paralelas. As linhas pontilhadas são perpendiculares às faces de V. O vidro tem índice de refração absoluto igual a  $\sqrt{3}$ . Um raio luminoso proveniente do ar ( $n = 1$ ) propaga-se neste sistema:



O ângulo  $\alpha$  mede:

- a)  $30^\circ$    b)  $60^\circ$    c)  $45^\circ$    d)  $15^\circ$    e)  $35^\circ$

**RESOLUÇÃO:**

$$n_{\text{ar}} \cdot \sin 60^\circ = n_V \cdot \sin r$$

$$1 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = \sqrt{3} \sin r$$

$$\sin r = \frac{1}{2} \Rightarrow r = 30^\circ$$

Resposta: A

Módulo

21

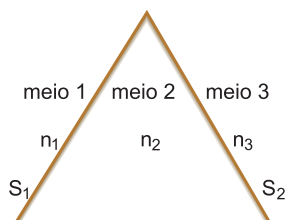
## Prismas ópticos I

**Palavras-chave:**

- Refrações diferentes • Dispersão

### 1. Definição

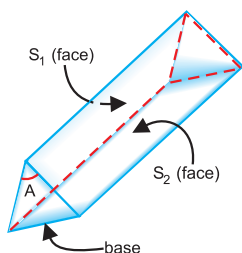
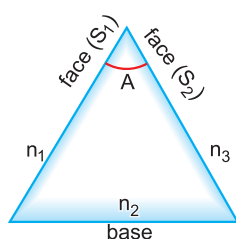
Denomina-se **prisma óptico** uma associação de dois dioptrios planos cujas superfícies diópticas não são paralelas.



As superfícies diópticas  $S_1$  e  $S_2$  são chamadas **faces do prisma**.

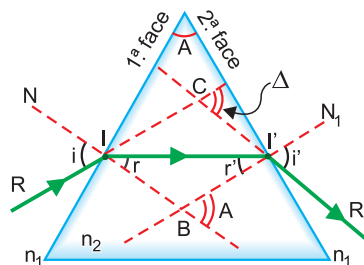
O ângulo A entre as faces do prisma é denominado **ângulo de refringência do prisma**.

A intersecção entre as superfícies diópticas é a **aresta do prisma**. Na prática, um prisma possui uma terceira face, oposta à aresta e denominada **base do prisma**.



### 2. Trajeto de um raio de luz ao atravessar um prisma

Na figura a seguir, representamos o trajeto de um raio de luz monocromática que atravessa um prisma; no caso,  $n_2 > n_1 = n_3$ .

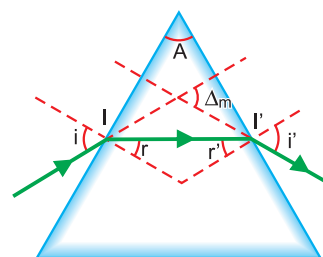


$\Delta$  é o desvio angular sofrido pelo raio emergente  $R'$  em relação à direção do raio incidente  $R$ .

### 3. Desvio angular mínimo

Por meio de experiências, comprova-se que o desvio angular é mínimo ( $\Delta_m$ ) quando os ângulos de incidência ( $i$ ) e de emergência ( $i'$ ) são iguais. Nessa condição, concluímos que os ângulos  $r$  e  $r'$  também são iguais. Portanto, quando o desvio angular é mínimo, temos:

$$i = i' \quad \text{e} \quad r = r'$$



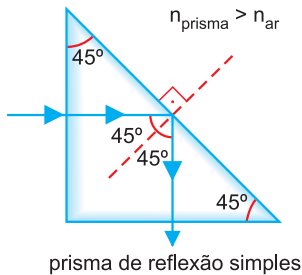
Observe na figura que, quando o desvio é mínimo, o raio interno ao prisma é perpendicular ao plano bissetor do ângulo A.

## 4. Prisma de reflexão total

Os prismas de reflexão total visam mudar a direção de propagação da luz ou endireitar imagens, fazendo com que a luz, internamente ao prisma, sofra uma ou mais reflexões totais.

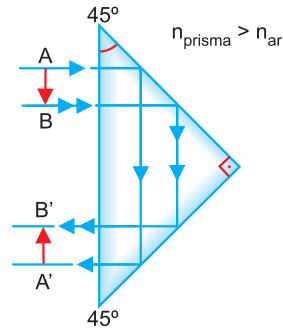
### Exemplo

• Prisma de Amici, desvio de  $90^\circ$ , usado em periscópios.



prisma de reflexão simples

• Prisma de Porro, desvio de  $180^\circ$ , usado em binóculos.

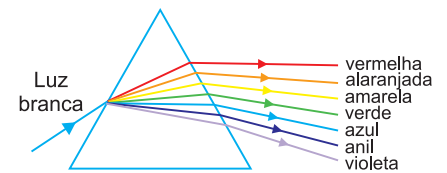


prisma de dupla reflexão

Nos dois casos, os prismas são constituídos por material mais refrin-

gente que o meio externo e os ângulos de incidência interna são maiores que o ângulo limite do diop-  
tro prisma-meio externo.

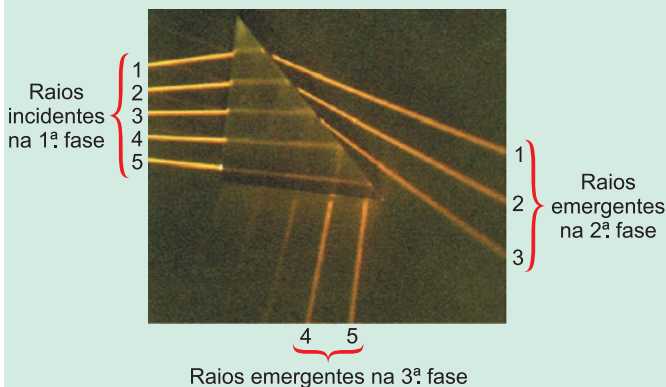
## Dispersão da luz



A componente que sofre maior desvio é a violeta (maior índice de refração no prisma) e a que sofre menor desvio é a vermelha (menor índice de refração no prisma).

## Exercício Resolvido

1 (MODELO ENEM) – A figura abaixo apresenta cinco feixes de luz monocromática que atravessam um prisma:



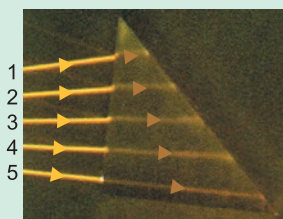
Para alguns ângulos críticos, podemos observar o fenômeno de reflexão total.

Assinale a alternativa correta:

- As refrações na 1ª face apresentam os maiores desvios angulares.
- O raio 3 sofreu o menor desvio na 2ª face.
- Houve apenas refração da luz na 2ª face.
- Os raios 4 e 5 sofreram reflexão total na 2ª face.
- Feixes de luz branca incidentes na 1ª face apresentar-se-iam com cor branca ao emergir na 2ª face.

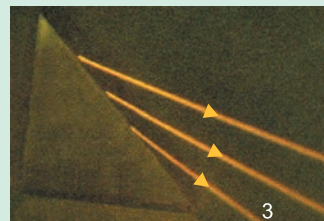
### Resolução

a) **FALSA.**



A incidência na 1ª face é quase normal e os desvios são pequenos.

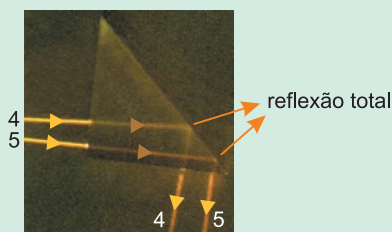
b) **FALSA.**



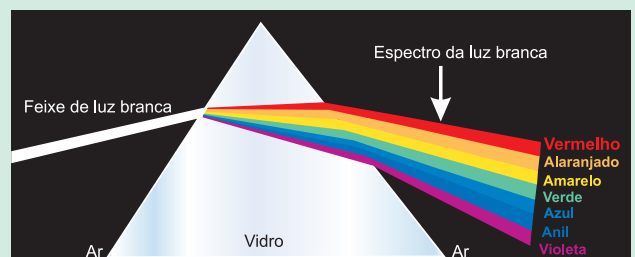
O raio 3 sofreu o maior desvio na 2ª face.

c) **FALSA.** A refração ocorre nas 3 faces, pois em todas elas a luz varia, pelo menos, o módulo de sua velocidade nas mudanças de meio de propagação.

d) **VERDADEIRA.**

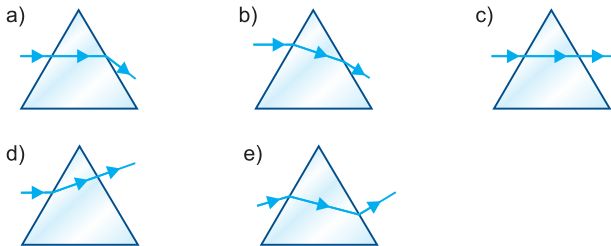


e) **FALSA.** Ocorreria a dispersão da luz.



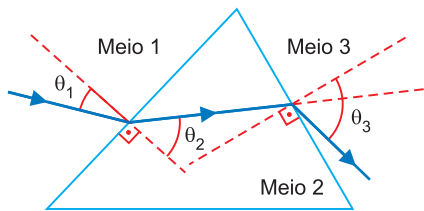
# Exercícios Propostos

**1 (MACKENZIE-MODELO ENEM)** – Um raio luminoso atravessa um prisma de índice de refração absoluto maior que o do meio que o envolve. Assinale a alternativa que mostra o caminho correto deste raio luminoso.



**Resposta: B**

**2** Um bloco de vidro foi construído em forma de prisma triangular, conforme indica a figura em corte. Um raio de luz atravessa o prisma, conforme indica o esquema.



São dados:

$n_1$  – índice de refração absoluto do meio 1;

$n_2$  – índice de refração absoluto do meio 2;

$n_3$  – índice de refração absoluto do meio 3.

Pede-se ordenar os valores de  $n_1$ ,  $n_2$  e  $n_3$ .

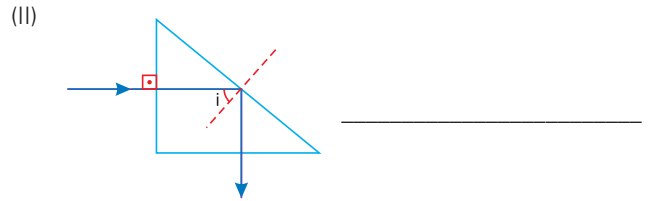
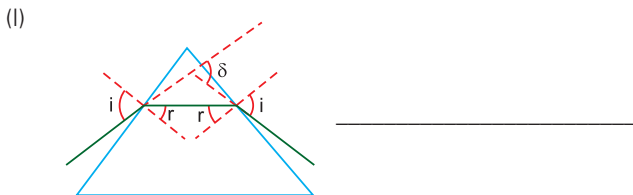
**RESOLUÇÃO:**

(1ª face)  $\theta_2 > \theta_1 \Rightarrow n_2 < n_1$  ou  $n_1 > n_2$

Ao passar do meio 2 para o meio 3, o raio de luz afasta-se da normal:  $n_2 > n_3$ .

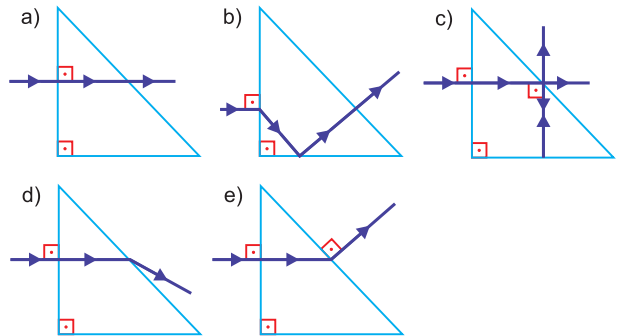
Assim:  $n_3 < n_2 < n_1$  ou  $n_1 > n_2 > n_3$

**3** Cite os fenômenos que ocorrem com um raio de luz monocromática ao atravessar os prismas nas situações a seguir:



I) Desvio angular mínimo II) Reflexão total

**4 (MODELO ENEM)** – Assinale a alternativa em que está representada uma trajetória possível para um raio de luz que incide sobre um prisma de vidro mergulhado no ar.



**RESOLUÇÃO:**

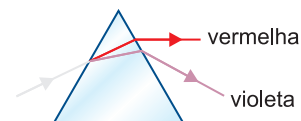
1. Na 1ª face, ocorre refração sem desvio, pois a incidência é normal.

2. Na 2ª face, se houver refração, a luz deve afastar-se da normal, pois a luz passa de um meio mais refringente para um meio menos refringente.

3. Se houver reflexão total na 2ª face, não haverá a passagem da luz do vidro para o ar.

**Resposta: D**

**5 (U.F.VIÇOSA)** – Ao incidir um feixe de luz branca sobre um prisma, observamos a dispersão da luz no feixe emergente, sendo que a cor violeta sofre o maior desvio e a vermelha, o menor.



Analisar as seguintes afirmativas:

I. O índice de refração absoluto do vidro é maior para a luz violeta.

II. O índice de refração absoluto do vidro é maior para a luz vermelha.

- III. O módulo da velocidade da luz violeta dentro do vidro é maior que o da luz vermelha.  
 IV. O módulo da velocidade da luz vermelha dentro do vidro é maior que o da violeta.  
 V. As velocidades das luzes vermelha e violeta têm módulos iguais dentro do vidro.

São verdadeiras:

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

Resposta: D

## Módulo

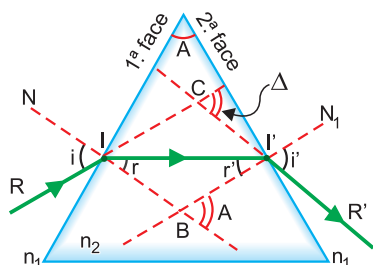
# 22

## Prismas ópticos II

### Palavras-chave:

- Ângulo de refração • ( $A = r + r'$ )
- Desvio angular • ( $\Delta = i + i' - A$ )

Na figura a seguir, representamos o trajeto de um raio de luz monocromática que atravessa um prisma; no caso,  $n_2 > n_1 = n_3$ .



### Fórmulas do prisma

1º) Lei de Snell (1ª face):

$$n_1 \cdot \text{sen } i = n_2 \cdot \text{sen } r \quad (1)$$

2º) Lei de Snell (2ª face):

$$n_2 \cdot \text{sen } r' = n_1 \cdot \text{sen } i' \quad (2)$$

3º) No triângulo II'B, o ângulo externo A é a soma dos ângulos internos não adjacentes:

$$A = r + r' \quad (3)$$

4º) No triângulo II'C, o ângulo externo Δ é o **desvio angular**.

$$\Delta = (i - r) + (i' - r')$$

$$\Delta = i + i' - (r + r')$$

$$\Delta = i + i' - A \quad (4)$$

### Desvio angular mínimo

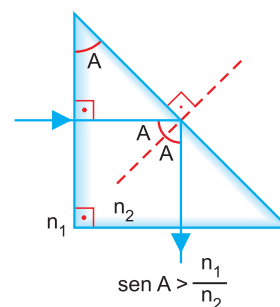
Nestas condições, resulta:

$$A = 2r$$

$$\Delta_m = 2i - A$$

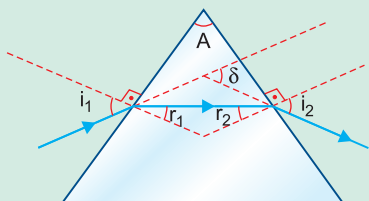
pois, temos,  $i = i'$  e  $r = r'$

### Reflexão total



## Exercícios Resolvidos

1 (FATEC) – Um prisma tem ângulo refringente (abertura) A, índice de refração relativo  $n$  e é atravessado por um pencil de luz, conforme o esquema abaixo.



Assinalar a proposição **incorreta**:

a) Quando  $i_1 = i_2$ , temos  $r_1 = r_2$

b)  $\frac{\text{sen } i_1}{\text{sen } r_1} = \frac{\text{sen } i_2}{\text{sen } r_2} = n$

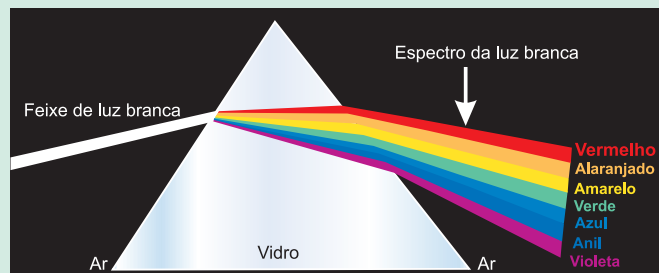
c)  $r_1 + r_2 = A$

d)  $\delta = i_1 + i_2 - A$

e)  $\frac{i_1}{r_1} = \frac{i_2}{r_2}$

Resposta: E

2 (MODELO ENEM) – A figura abaixo representa a dispersão da luz branca num prisma óptico.



Na tabela, temos algumas cores com as respectivas frequências relacionadas com o índice de refração absoluto para dois tipos diferentes de vidro.

Frequência (10 <sup>14</sup> Hz)	Cor da Luz	Vidro Crown: n	Vidro Flint: n
7,692	Violeta	1,536	1,660
6,172	Azul	1,524	1,639
5,093	Amarela	1,517	1,627
4,571	Vermelha	1,514	1,622

Analise as proposições que se seguem.

- I) A cor violeta sofre o maior desvio angular.  
 II) As cores de maior frequência sofrem os menores desvios.

- III) O índice de refração absoluto (n) é crescente do vermelho para o violeta.  
 IV) A luz anil tem índice de refração absoluto (n) entre 1,639 e 1,660 para o vidro *flint*.  
 V) A luz verde apresenta frequência entre 5,093 · 10<sup>14</sup>Hz e 6,172 · 10<sup>14</sup>Hz, apenas para o vidro *crown*.

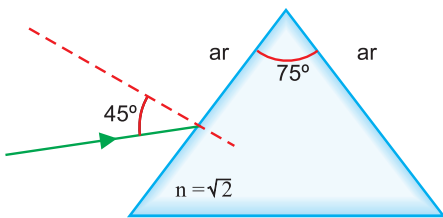
São corretas

- a) I, II, III e IV.      b) I, II e III.      c) II, III e IV.  
 d) I, III e V      e) III, IV e V.

**Resposta: A**

## Exercícios Propostos

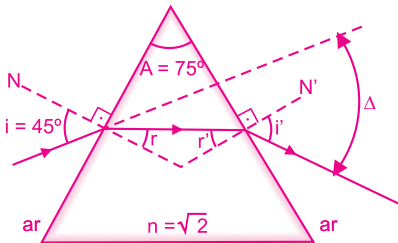
- 1 (FAZU)** – Um prisma de vidro tem ângulo de abertura  $A = 75^\circ$  e índice de refração absoluto  $n = \sqrt{2}$ . O prisma encontra-se imerso no ar. Tem-se a trajetória de um raio de luz monocromática que incide em uma das faces do prisma sob ângulo de  $45^\circ$ .



Podemos afirmar que o desvio sofrido pelo raio de luz ao atravessar o prisma é de:

- a) 30°    b) 60°    c) 75°    d) 90°    e) 45°

**RESOLUÇÃO:**



- 1) Aplicando a Lei de Snell na 1ª face, temos:**

$$n_{\text{ar}} \cdot \sin i = n \cdot \sin r$$

$$1 \cdot \sin 45^\circ = \sqrt{2} \cdot \sin r$$

$$\sin r = \frac{1}{2} \Rightarrow r = 30^\circ$$

- 2) Da expressão do ângulo de refringência (A), vem:**

$$A = r + r' \quad 75^\circ = 30^\circ + r' \quad r' = 45^\circ$$

- 3) Aplicando a Lei de Snell na 2.ª face, temos:**

$$n \cdot \sin r' = n_{\text{ar}} \cdot \sin i'$$

$$\sqrt{2} \cdot \sin 45^\circ = 1 \cdot \sin i' \quad \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot \sqrt{2} = \sin i'$$

$$\sin i' = 1 \Rightarrow i' = 90^\circ \text{ (emergência rasante)}$$

- 4) O desvio angular ( $\Delta$ ) é dado por:**

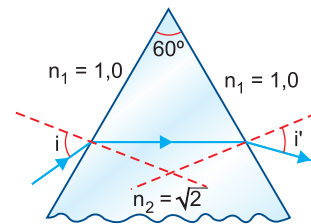
$$\Delta = i + i' - A \quad \Delta = 45^\circ + 90^\circ - 75^\circ$$

$$\Delta = 60^\circ$$

**Resposta: B**

- 2** Sobre um prisma de vidro ( $n_2 = \sqrt{2}$ ) imerso no ar, fazemos um raio de luz monocromática incidir com ângulo de incidência variável.

Sabe-se que o ângulo de incidência ( $i$ ) é igual a  $45^\circ$  e o desvio sofrido pelo raio de luz é o mínimo possível.



- a) Qual o ângulo de emergência  $i'$ ?  
 b) Qual o valor de desvio mínimo?

**RESOLUÇÃO:**

a) Sendo o desvio mínimo, devemos ter:  $i' = i \Rightarrow i' = 45^\circ$

b) O desvio é dado por:  $\Delta = i + i' - A$

Como:  $i = i' = 45^\circ$  e  $A = 60^\circ$ , vem:  $\Delta_m = 45^\circ + 45^\circ - 60^\circ$

$$\Delta_m = 30^\circ$$

**Respostas: a) 45°    b) 30°**

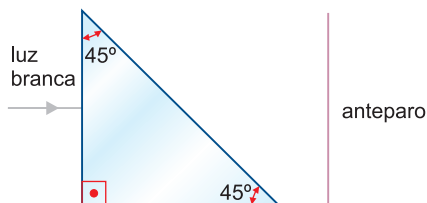
- 3 (FUVEST)** – Um pincel de luz branca incide perpendicularmente em uma das faces menores de um prisma, cuja seção principal é um triângulo retângulo e isósceles.

O prisma está imerso no ar e é constituído de um material transparente, que apresenta, para as sete radiações monocromáticas caracterizadas por sua cor, o índice de refração absoluto  $n$ , indicado na tabela a seguir.

violeta .....	1,48
anil .....	1,46
azul .....	1,44
verde .....	1,42
amarelo .....	1,40
alaranjado .....	1,39
vermelho .....	1,38

Valores numéricos de alguns senos:

$$\text{sen } 30^\circ = \frac{1}{2}; \quad \text{sen } 45^\circ = \frac{\sqrt{2}}{2}; \quad \text{sen } 60^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2}$$



Observa-se que nem todas as radiações atingem um anteparo destinado a receber o espectro.

Quais as cores recebidas no anteparo? Justifique sua resposta.

**RESOLUÇÃO:**

Sofrerão reflexão total e não atingirão o anteparo as radiações para as quais o ângulo de incidência, que vale  $45^\circ$ , superar o ângulo limite do dióptro prisma-ar.

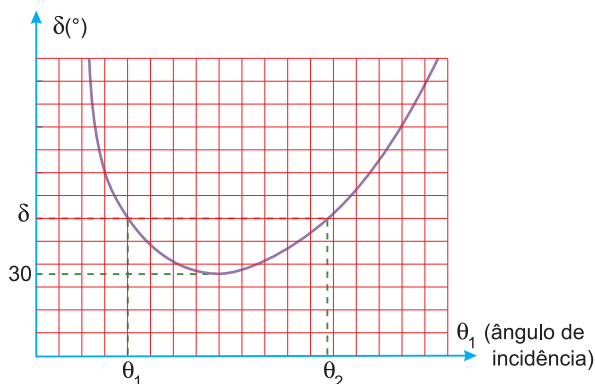
Assim:  $45^\circ > L \Rightarrow \text{sen } 45^\circ > \text{sen } L$

$$\frac{\sqrt{2}}{2} > \frac{1}{n} \Rightarrow \boxed{n > \sqrt{2}}$$

Como  $\sqrt{2} \cong 1,41$ , teremos  $n > \sqrt{2}$ , de acordo com a tabela dada, para as radiações violeta, anil, azul e verde; tais cores sofrerão reflexão total e não atingirão o anteparo. As demais cores (amarelo, alaranjado e vermelho) atravessam o prisma e são detectadas no anteparo.

Resposta: vermelho, alaranjado e amarelo.

**4 (UNESP-MODELO ENEM)** – A figura representa o gráfico do desvio ( $\delta$ ) sofrido por um raio de luz monocromática que atravessa um prisma de vidro imerso no ar, de ângulo de refração  $A = 50^\circ$ , em função do ângulo de incidência  $\theta_1$ .



É dada a relação  $\delta = \theta_1 + \theta_2 - A$ , em que  $\theta_1$  e  $\theta_2$  são, respectivamente, os ângulos de incidência e de emergência do raio de luz ao atravessar o prisma (pelo princípio da reversibilidade dos raios de luz, é indiferente qual desses ângulos é de incidência ou de emergência, por isso há no gráfico dois ângulos de incidência para o mesmo desvio  $\delta$ ).

Determine os ângulos de incidência ( $\theta_1$ ) e de emergência ( $\theta_2$ ) do prisma na situação de desvio mínimo, em que  $\delta_{\text{mín}} = 30^\circ$ .

**RESOLUÇÃO:**

Para o desvio mínimo, os ângulos de incidência  $\theta_1$  e de emergência  $\theta_2$  são iguais.

$$\delta = \theta_1 + \theta_2 - A$$

$$\delta_{\text{mín}} = 2\theta_1 - A$$

$$30^\circ = 2\theta_1 - 50^\circ$$

$$2\theta_1 = 80^\circ$$

$$\boxed{\theta_1 = 40^\circ}$$

$$\boxed{\theta_2 = 40^\circ}$$

Resposta:  $\theta_1 = \theta_2 = 40^\circ$

**Módulo**

**23**

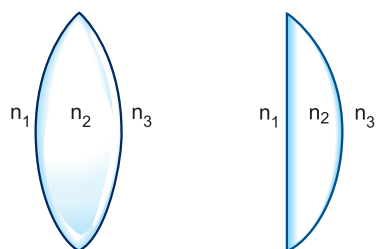
**Lentes esféricas**

**Palavras-chave:**

- Geometria • Comportamento óptico

**1. Definição**

Denomina-se **lente esférica** uma associação de dois dióptros esféricos ou um dióptro esférico e outro plano.

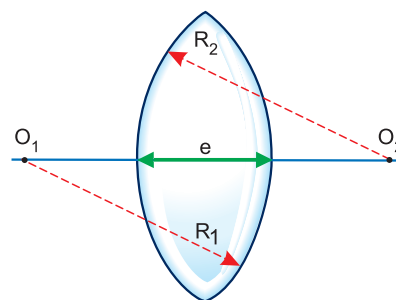


Em geral,  $n_3 = n_1$ .

Os elementos geométricos importantes de uma lente esférica são:  $O_1$  e  $O_2$ : **centros de curvatura**.

$R_1$  e  $R_2$ : **raios de curvatura**.

$e$ : **espessura da lente**.

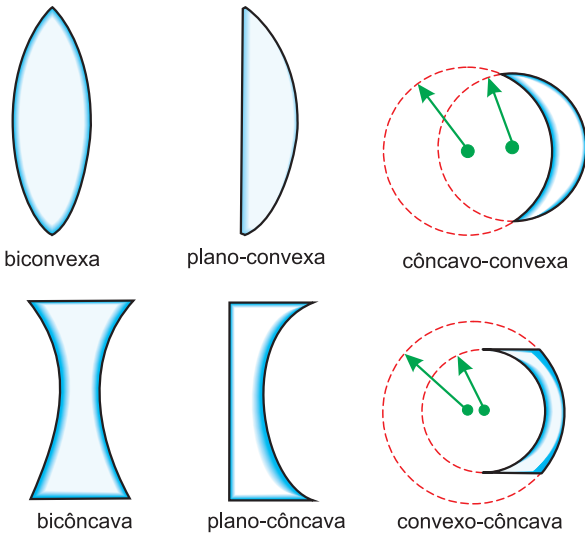


O eixo definido pelos centros de curvatura  $O_1$  e  $O_2$  constitui o **eixo principal da lente**.

## 2. Nomenclatura e tipos

Nomearemos as faces voltadas para o meio exterior assinalando em primeiro lugar a face de maior raio de curvatura.

Assim, temos os seguintes tipos de lentes:



As três primeiras lentes são denominadas lentes de bordos finos e as três últimas, lentes de bordos espessos.

## 3. Comportamento óptico das lentes

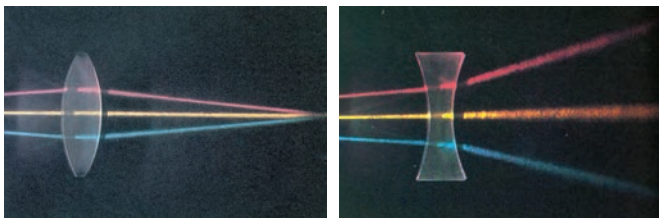
Quando um feixe de luz cilíndrico incide em uma lente esférica, ele pode ter dois comportamentos ópticos distintos:

- O feixe emergente é do tipo cônico convergente. A lente, neste caso, é denominada **convergente**.
- O feixe emergente é do tipo cônico divergente. A lente é **divergente**.

Sendo  $n_2$  o índice de refração absoluto do material com que a lente é feita e  $n_1$  o índice de refração absoluto do meio onde a lente está imersa, temos os casos resumidos na tabela:

	Lentes de bordos finos	Lentes de bordos espessos
$n_2 > n_1$	convergentes	divergentes
$n_2 < n_1$	divergentes	convergentes

O caso mais comum é  $n_2 > n_1$ : lentes de vidro e imersas no ar, representadas abaixo:

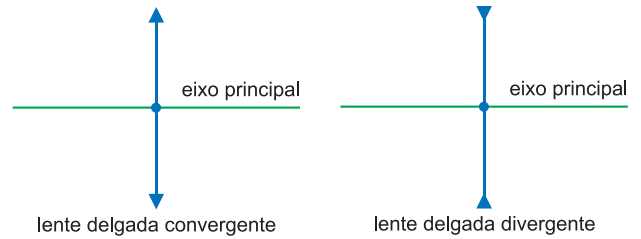


Raios de luz incidindo numa lente biconvexa (bordos finos).

Raios de luz incidindo numa lente bicôncava (bordos grossos).

## 4. Lente delgada

Se a espessura da lente for desprezível quando comparada com os raios de curvatura  $R_1$  e  $R_2$ , ela será chamada **lente delgada**. Na figura a seguir, representamos as lentes delgadas convergentes e divergentes.



A intersecção do eixo principal com a lente delgada é um ponto O denominado **centro óptico da lente delgada**.

Além do centro óptico O, são importantes os seguintes pontos:

F : foco principal objeto.

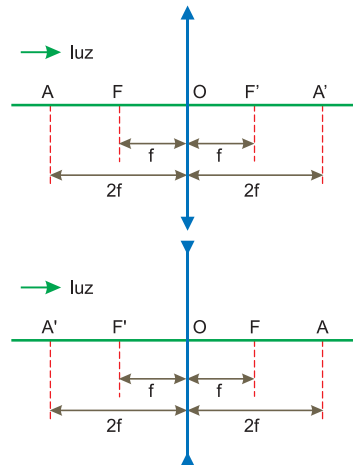
F' : foco principal imagem.

A distância de F a O é igual à distância de F' a O e é chamada **distância focal f**.

A : ponto antiprincipal objeto.

A' : ponto antiprincipal imagem.

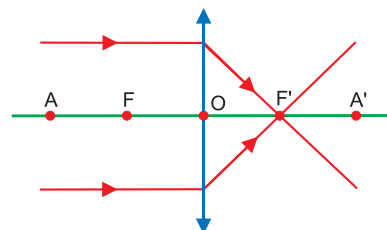
A distância de A a O é igual à distância de A' a O e é igual a  $2f$ .



**Observação:** Sempre que necessário, consideraremos obedecidas as condições de nitidez de Gauss.

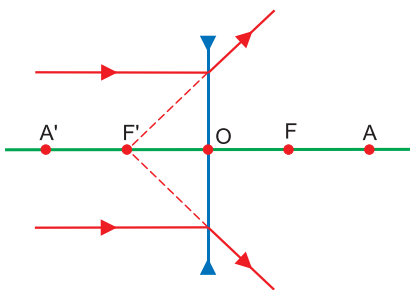
## 5. Raios notáveis

a) Todo raio de luz que incide numa lente paralelamente ao eixo principal emerge numa direção que passa pelo foco principal F'.



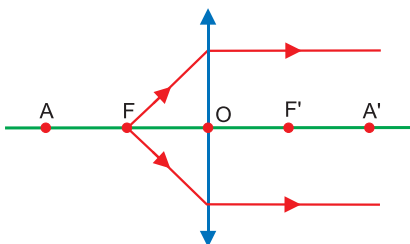
F' tem natureza real nas lentes convergentes.



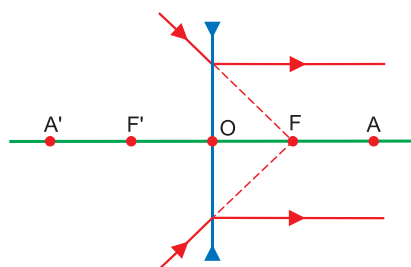


$F'$  tem natureza virtual nas lentes divergentes.

b) Todo raio de luz que incide na lente numa direção que passa pelo foco principal objeto  $F$  emerge paralelamente ao eixo principal.

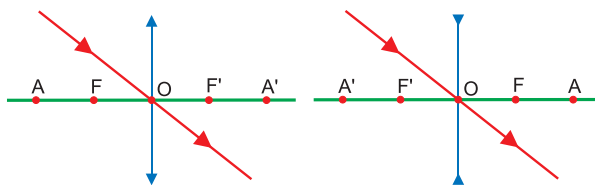


$F$  tem natureza real nas lentes convergentes.

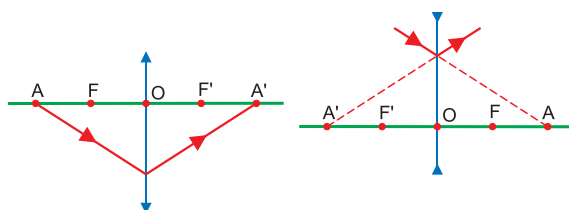


$F$  tem natureza virtual nas lentes divergentes.

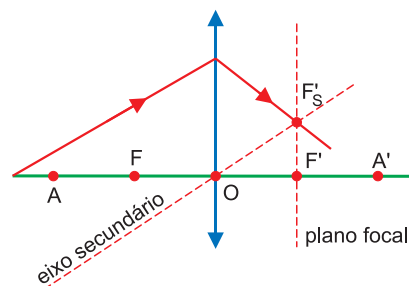
c) Todo raio de luz que incide, passando pelo centro óptico  $O$ , atravessa a lente sem se desviar.



d) Todo raio de luz que incide na lente numa direção que passa por  $A$  emerge numa direção que passa por  $A'$ .

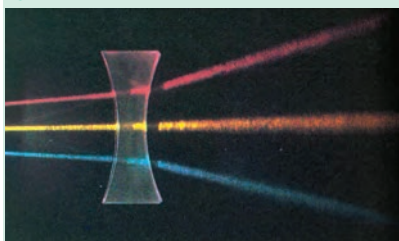


e) Todo raio de luz que incide obliquemente ao eixo principal emerge numa direção que passa pelo foco secundário ( $F'_s$ ).



## Exercício Resolvido

1 (MODELO ENEM) – A figura a seguir representa uma lente atravessada por um feixe de raios luminosos.



Assinale a alternativa correta, referente à ilustração apresentada.

- a) A lente é convergente.
- b) A lente é biconvexa.
- c) A lente tem bordas finas.
- d) A lente é indicada para concentrar radiação solar.
- e) O foco imagem principal dessa lente é virtual.

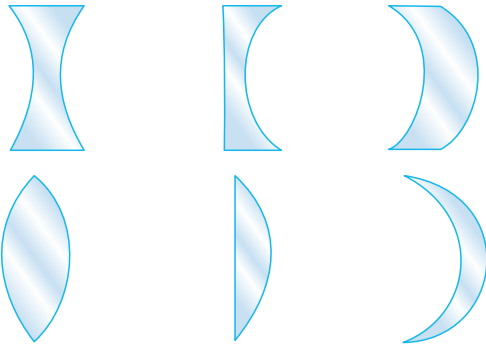
**Resposta: E**

### No Portal Objetivo

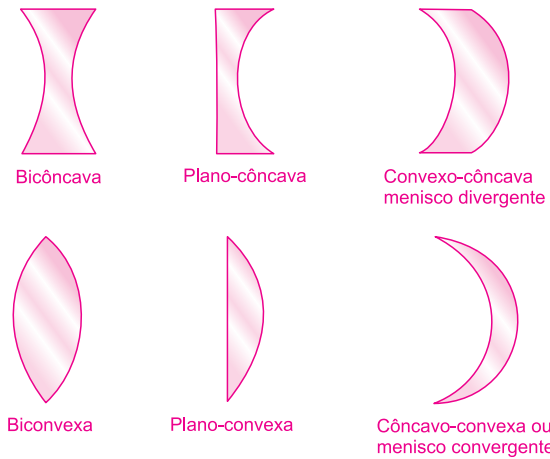
Para saber mais sobre o assunto, acesse o **PORTAL OBJETIVO** ([www.portal.objetivo.br](http://www.portal.objetivo.br)) e, em "localizar", digite **FIS2M202**

# Exercícios Propostos

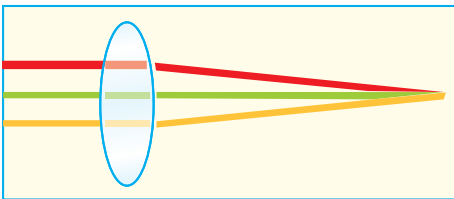
1 Dê a nomenclatura das lentes abaixo.



**RESOLUÇÃO:**



2 A figura a seguir representa uma lente atravessada por um feixe de raios luminosos:



Com base na ilustração, assinale a alternativa correta:

- a) A lente tem bordas grossas.
- b) O índice de refração absoluto do material que constitui a lente é menor que o índice de refração absoluto do meio que a envolve.
- c) Os raios emergentes concentram-se no centro óptico da lente.
- d) A lente é divergente.
- e) A lente é biconvexa.

**Resposta: E**

3 (MODELO ENEM) – Note como a lente converge os raios solares para um ponto determinado sobre o papel:

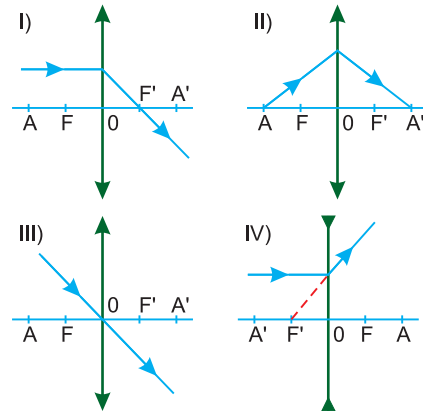


A distância entre o ponto de concentração da luz e a lente é útil para determinarmos, diretamente,

- a) os raios de curvatura das faces da lente.
- b) o índice de refração absoluto do material que constitui a lente.
- c) a razão entre a espessura das bordas e da região central da lente.
- d) a temperatura de aquecimento do papel.
- e) a distância focal da lente.

**Resposta: E**

4 As figuras a seguir representam o possível trajeto de um raio de luz propagando-se através de lentes delgadas:



A e A' são pontos antiprincipais e F e F' são focos principais: Estão corretas:

- a) apenas I, II e III
- b) apenas IV
- c) apenas III
- d) apenas I, III e IV
- e) I, II, III e IV

**Resposta: E**

5 (PUC-SP) – As figuras abaixo são fotografias de feixes de luz paralelos que incidem e atravessam duas lentes esféricas imersas no ar. Considere que as lentes são feitas de um material cujo índice de refração absoluto é maior do que o índice de refração do ar.

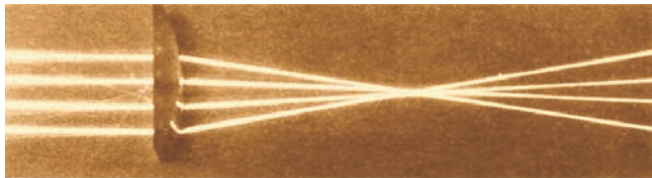


Figura A

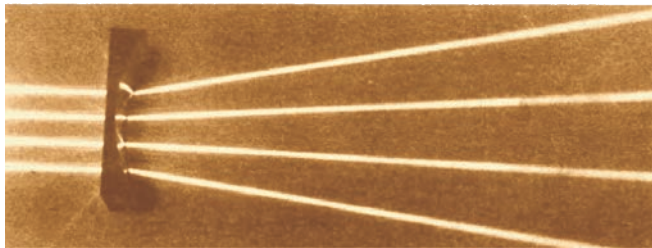


Figura B

Sobre essa situação fazem-se as seguintes afirmações:

- I. A lente da figura A comporta-se como lente convergente e a lente da figura B comporta-se como lente divergente.
- II. O comportamento óptico da lente da figura A não mudaria se ela fosse imersa em um líquido de índice de refração absoluto maior que o índice de refração absoluto do material que constitui a lente.

- III. Lentes com propriedades ópticas iguais às da lente da figura B podem ser utilizadas por pessoas portadoras de miopia.
- IV. Para queimar uma folha de papel, concentrando a luz solar com apenas uma lente, uma pessoa poderia utilizar a lente B.

Das afirmações, estão corretas apenas

- a) I e II.
- b) II e III.
- c) I e III.
- d) II e IV.
- e) I, III e IV

**RESOLUÇÃO:**

- I. **CORRETA.** A lente da figura A concentra os feixes luminosos em um mesmo ponto, o que caracteriza o comportamento convergente. A lente da figura B, entretanto, espalha os feixes luminosos que eram paralelos antes da incidência. Isso caracteriza o comportamento divergente.
- II. **ERRADA.** Se a lente da figura A for imersa em um líquido mais refringente que ela, seu comportamento inverte-se, tornando-se divergente.
- III. **CORRETA.** A correção da miopia é feita com lentes divergentes, como é o caso da lente da figura B.
- IV. **ERRADA.** A lente que permite queimar uma folha de papel concentrando a luz solar deve ter comportamento convergente, como é o caso da lente da figura A, supondo que está sendo usada no ar.

**Resposta: C**

**Módulo**

**24**

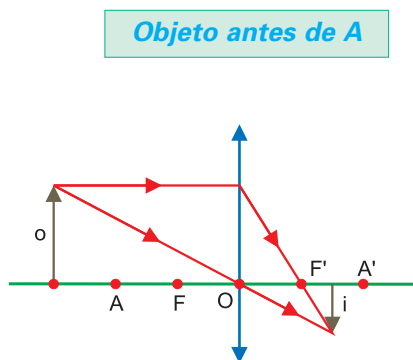
**Lentes esféricas – Construções de imagens**

**Palavras-chave:**

- Muitas imagens
- Aplicações variadas

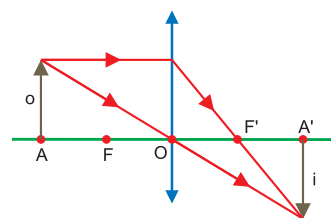
**1. Construção gráfica da imagem de um pequeno objeto frontal**

**Lente convergente**



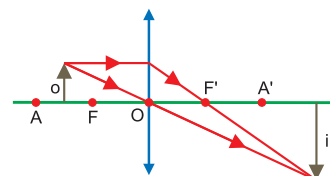
**Imagem:** real, invertida e menor do que o objeto (máquina fotográfica).

**Objeto em A**



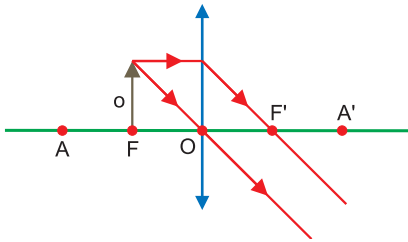
**Imagem:** real, invertida e do mesmo tamanho do objeto.

**Objeto entre A e F**



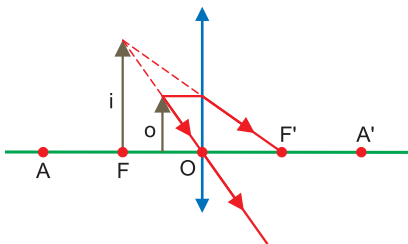
**Imagem:** real, invertida e maior do que o objeto (projektor de slides).

### Objeto em F



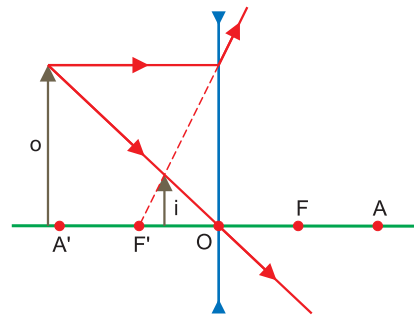
**Imagem:** imprópria.

### Objeto entre F e O



**Imagem:** virtual, direita e maior do que o objeto (lupa ou lente de aumento).

### Lente divergente



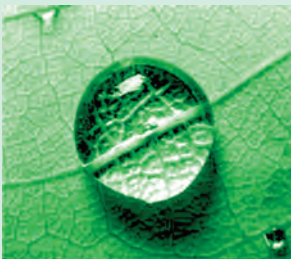
**Imagem:** virtual, direita e menor do que o objeto.

#### Observações

- Nos sistemas ópticos refratores, quando objeto e imagem são de mesma natureza, estão posicionados em diferentes semiespaços definidos pelo sistema.
- Nos sistemas ópticos refratores, quando objeto e imagem são de natureza diferente, estão posicionados no mesmo semiespaço definido pelo sistema.

## Exercícios Resolvidos

**1 (VUNESP-FMJ-MODELO ENEM)** – A figura mostra uma gota de água sobre uma folha, permitindo ver detalhes ampliados através dela, sem invertê-los.



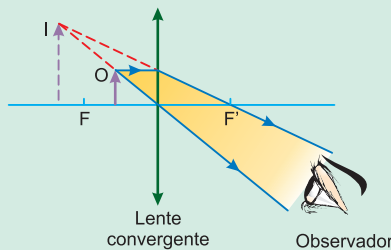
(Foto: Rennato Testa)

- Na situação descrita, a gota funciona como
- uma lente divergente, com o objeto colocado no seu plano focal.
  - uma lente divergente, com o objeto colocado entre seu plano focal e a própria lente.
  - uma lente convergente, com o objeto colocado além de seu plano focal.
  - uma lente convergente, com o objeto entre seu plano focal e a própria lente.
  - uma lente convergente com o objeto colocado no seu plano focal.

#### Resolução

A gota-d'água se comporta como uma lupa. A figura a seguir mostra os raios de luz que deter-

minam a imagem I, virtual, direita e ampliada, que se observa para o objeto real O neste caso.



**Resposta: D**

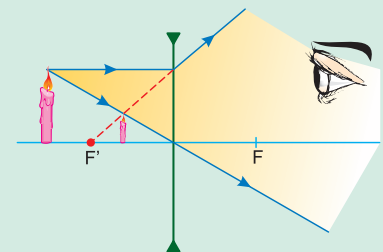
**2 (VUNESP)** – Um objeto luminoso encontra-se diante de um elemento óptico, que pode ser uma lente esférica ou um espelho plano ou esférico. Um estudante observa que a imagem do objeto, formada por esse elemento, é direita e reduzida em relação ao seu tamanho natural. Ele conclui **corretamente** que o elemento pode ser

- uma lente convergente ou um espelho côncavo.
- uma lente convergente ou um espelho convexo.
- um espelho plano.
- uma lente divergente ou um espelho convexo.
- uma lente divergente ou um espelho côncavo.

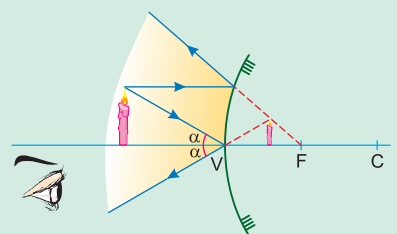
#### Resolução

Para que a imagem do objeto real conjugada pelos elementos ópticos referidos seja direita e reduzida, é necessário que o elemento óptico seja uma *lente divergente* ou um *espelho convexo*.

(I) Lente divergente:



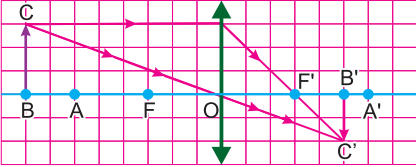

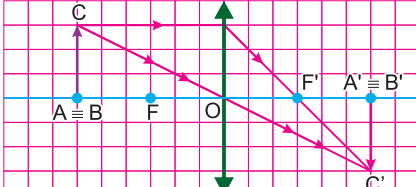

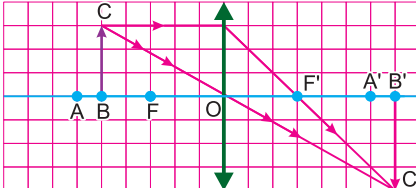

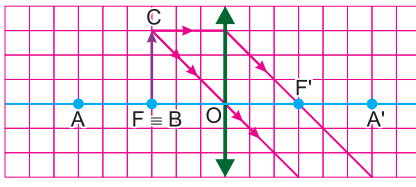

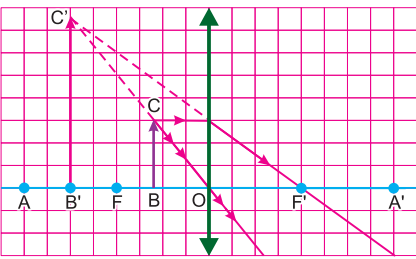

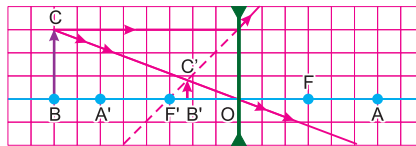

(II) Espelho convexo:



**Resposta: D**

# Exercício Proposto

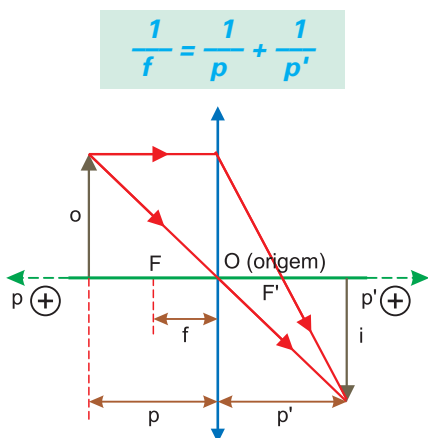
1 Complete o quadro abaixo.

LENTE CONVERGENTE	CONSTRUÇÃO DA IMAGEM	CARACTERÍSTICAS DA IMAGEM B'C'
Objeto antes de A	  <p><b>máquina fotográfica</b></p> <p>A câmara fotográfica que conjuga a imagem sobre o filme e o cristalino dos olhos que conjuga a imagem sobre a retina, são aplicações desse caso.</p>	<p><b>Real Invertida Menor</b></p>
Objeto sobre A	  <p><b>fotocopiadora (xerox)</b></p>	<p><b>Real Invertida Iguar</b></p>
Objeto entre A e F	  <p><b>sala de cinema</b></p> <p>O projetor de <i>slides</i> e o projetor de cinema são aplicações de lentes usadas dessa maneira para projetar imagens sobre um anteparo (tela).</p>	<p><b>Real Invertida Maior</b></p>
Objeto sobre F	  <p><b>holofote</b></p> <p>As lentes dos faróis e dos holofotes são aplicações deste caso.</p>	<p><b>Imprópria</b></p>
Objeto entre F e O	  <p><b>lupa</b></p> <p>A lupa, o microscópio, o binóculo e o telescópio são aplicações deste caso.</p>	<p><b>Virtual Direita Maior</b></p>
LENTE DIVERGENTE	CONSTRUÇÃO DA IMAGEM	CARACTERÍSTICAS DA IMAGEM B'C'
<p>Numa lente divergente, qualquer que seja a posição do objeto em relação à lente, as características da imagem B'C' são sempre iguais.</p>	  <p><b>óculos</b></p> <p>Lentes corretivas para a miopia</p>	<p><b>Virtual Direita Menor</b></p>

$$\bullet \frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'}$$

## Equação de Gauss

Sejam  $p$  e  $p'$  as abscissas do objeto e da imagem, respectivamente. A **Equação de Gauss** relaciona  $p$ ,  $p'$  e  $f$ .



De acordo com o sistema de eixos adotado, temos a seguinte convenção de sinais:

- $p > 0$  : objeto real
- $p < 0$  : objeto virtual
- $p' > 0$  : imagem real
- $p' < 0$  : imagem virtual
- $f > 0$  : lente convergente
- $f < 0$  : lente divergente

## Exercícios Resolvidos

**1 (UNESP)** – Sobre o eixo de uma lente convergente, de distância focal 6,0 cm, encontra-se um objeto, afastado 30 cm da lente. Nessas condições, a distância da imagem à lente será:

- a) 3,5 cm      b) 4,5 cm      c) 5,5 cm  
d) 6,5 cm      e) 7,5 cm

**Resolução:**

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \Rightarrow \frac{1}{6} = \frac{1}{30} + \frac{1}{p'}$$

$$\frac{1}{6} - \frac{1}{30} = \frac{1}{p'} \Rightarrow \frac{5-1}{30} = \frac{1}{p'}$$

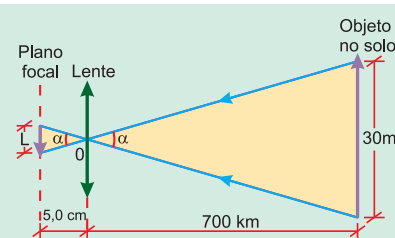
$$\frac{4}{30} = \frac{1}{p'} \Rightarrow \boxed{p' = 7,5\text{cm}}$$

**Resposta: E**

**2 (UNESP)** – O Landsat 7 é um satélite de sensoriamento remoto que orbita a 700 km da superfície da Terra. Suponha que a menor área da superfície que pode ser fotografada por esse satélite é de 30 m x 30 m, correspondente a um *pixel*, elemento unitário da imagem conjugada no sensor óptico da sua câmara fotográfica. A lente dessa câmara tem distância focal  $f = 5,0$  cm. Supondo que os pixels sejam quadrados, qual o comprimento dos lados de cada quadrado?

**Resolução:**

O objeto a ser fotografado comporta-se como objeto impróprio (situado no “infinito”) em relação ao equipamento óptico existente no satélite. Isso significa que a imagem de um objeto no solo terrestre se forma no plano focal da lente, como está representado, fora de escala, no esquema a seguir.



Os triângulos destacados são semelhantes, logo:

$$\frac{L}{5,0\text{ cm}} = \frac{3000\text{ cm}}{7,0 \cdot 10^7\text{ cm}}$$

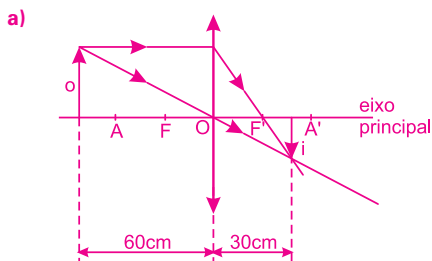
$$\boxed{L \cong 2,1 \cdot 10^{-4}\text{ cm}}$$

**Resposta: os pixels têm lado de comprimento aproximadamente igual a  $2,1 \cdot 10^{-4}$  cm.**

## Exercícios Propostos

**1 (UNESP)** – Um modelo simples para o olho consiste em uma lente (para simular o cristalino) e um anteparo (simulando a retina). Montando um sistema desse tipo no laboratório, foi observado que, de um objeto luminoso de 4,0 cm de altura, colocado 60 cm à frente da lente, projetou-se uma imagem nítida, invertida e de 2,0 cm de altura num anteparo situado 30cm atrás da lente.

- a) Desenhe um esquema da montagem experimental descrita, indicando os principais raios de luz que permitem associar o ponto mais alto do objeto com sua respectiva imagem.  
b) Determine a distância focal da lente usada nesse experimento.

**RESOLUÇÃO:**

b) Pela Equação de Gauss:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \Rightarrow \frac{1}{f} = \frac{1}{60} + \frac{1}{30}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1+2}{60} \quad \boxed{f = 20\text{cm}}$$

Distância focal igual a 20cm.

Respostas: a) ver figura      b) 20cm

2) A imagem virtual de um objeto real, colocado a 30cm de uma lente, é formada do mesmo lado em que se acha o objeto e a 10cm da lente. Calcular a distância focal e dizer de que tipo de lente se trata.

**RESOLUÇÃO:**

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \Rightarrow \frac{1}{f} = \frac{1}{30} - \frac{1}{10} \Rightarrow f = -15\text{cm}$$

Sendo  $f < 0$ , concluímos que a lente é divergente.

3) Um objeto luminoso está colocado diante de uma lente convergente de distância focal 8,0cm. Estando o objeto a 12cm da lente, qual a posição da respectiva imagem?

**RESOLUÇÃO:**

$$\frac{1}{p'} = \frac{1}{f} - \frac{1}{p} \Rightarrow \frac{1}{p'} = \frac{1}{8,0} - \frac{1}{12} \Rightarrow \boxed{p' = 24\text{cm}}$$

4) (CESGRANRIO) – Um objeto real é colocado perpendicularmente ao eixo principal de uma lente convergente de distância focal  $f$ . Se o objeto está a uma distância  $3f$  da lente, a distância entre o objeto e a imagem conjugada por essa lente é:  
 a)  $f/2$     b)  $3f/2$     c)  $5f/2$     d)  $7f/2$     e)  $9f/2$

**RESOLUÇÃO:**

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \Rightarrow \frac{1}{f} = \frac{1}{3f} + \frac{1}{p'}$$

$$\frac{1}{f} - \frac{1}{3f} = \frac{1}{p'} \Rightarrow \frac{3-1}{3f} = \frac{1}{p'}$$

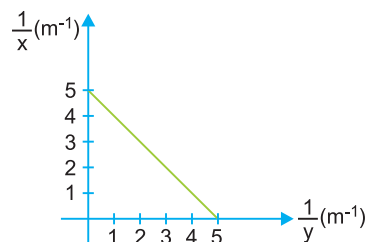
$$\frac{2}{3f} = \frac{1}{p'} \Rightarrow \boxed{p' = \frac{3f}{2}}$$

$$d = p + p'$$

$$d = 3f + \frac{3f}{2} = \frac{6f + 3f}{2} \Rightarrow \boxed{d = \frac{9f}{2}}$$

Resposta: E

5) (CEFET-PR-MODELO ENEM) – Uma equipe de alunos obtém imagens reais da chama de uma vela. Coletando os dados sobre a distância  $x$  da vela à lente e a distância  $y$  da lente ao anteparo, obtiveram o diagrama representado a seguir.



A partir dele, podemos afirmar que a distância focal da lente usada vale, em  $m$ :

- a) 5,0    b) 2,5    c) 1,0    d) 0,20    e) 0,10

**RESOLUÇÃO:**

Do gráfico, temos:  $\frac{1}{x} = 4$  e  $\frac{1}{y} = 1$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{x} + \frac{1}{y} \Rightarrow \frac{1}{f} = 4 + 1 = 5\text{m}^{-1} \Rightarrow \boxed{f = \frac{1}{5} \text{ m} = 0,20\text{m}}$$

Resposta: D

### Aumento linear transversal

Sejam  $i$  e  $o$  as medidas algébricas das dimensões lineares da imagem e do objeto, respectivamente, com orientação positiva para cima.

*O aumento linear transversal é, por definição, o quociente  $\frac{i}{o}$ .*

Desenhando o objeto sempre para cima,  $o$  será **positivo**. Se a imagem resultar para cima, temos  $i > 0$ : **imagem direita**. Se a imagem resultar para baixo, temos  $i < 0$ : **imagem invertida**.

A exemplo dos espelhos esféricos, valem as fórmulas:

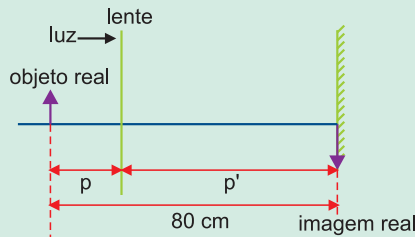
$$\frac{i}{o} = -\frac{p'}{p} \quad \text{e} \quad \frac{i}{o} = \frac{f}{f-p}$$

### Exercício Resolvido

**1 (FUVEST)** – A distância entre um objeto e uma tela é de 80cm. O objeto é iluminado e, por meio de uma lente delgada posicionada adequadamente entre o objeto e a tela, uma imagem do objeto, nítida e ampliada 3 vezes, é obtida sobre a tela. Para que isto seja possível, a lente deve ser

- a) convergente, com distância focal de 15cm, colocada a 20cm do objeto.
- b) convergente, com distância focal de 20cm, colocada a 20cm do objeto.
- c) convergente, com distância focal de 15cm, colocada a 60cm do objeto.
- d) divergente, com distância focal de 15cm, colocada a 60cm do objeto.
- e) divergente, com distância focal de 20cm, colocada a 20cm do objeto.

**Resolução**



Do enunciado, vem:  
objeto iluminado  $\Rightarrow$  objeto real; imagem projetada  $\Rightarrow$  imagem real  
Como objeto e imagem são reais, a imagem deve ser invertida em relação ao objeto ( $A < 0$ ).  
Assim:

$$A = \frac{-p'}{p} \Rightarrow -3 = \frac{-p'}{p} \Rightarrow p' = 3p$$

mas:  $p + p' = 80\text{cm}$

$$p + 3p = 80\text{cm} \Rightarrow \boxed{p = 20\text{cm}} \\ \boxed{p' = 60\text{cm}}$$

Da equação dos pontos conjugados de Gauss, temos:

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

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{20} + \frac{1}{60}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{3+1}{60} \Rightarrow \boxed{f = 15\text{cm}}$$

**Conclusão:** A lente é convergente ( $f > 0$ ) de distância focal 15cm e o objeto está posicionado a 20cm da lente.

**Resposta: A**

### Exercícios Propostos

**1 (UDESC)** – Um objeto de 2,0cm de altura é colocado a certa distância de uma lente convergente. Sabendo que a distância focal da lente é 20,0cm e que a imagem se forma a 50,0cm da lente, do mesmo lado que o objeto, pode-se afirmar que o tamanho da imagem é

a) 7,0cm    b) 0,6cm    c) 60,0cm    d) 0,07cm    e) 30,0cm

**RESOLUÇÃO:**

(I) Equação de Gauss:

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{p'} = \frac{1}{f} \Rightarrow \frac{1}{p} - \frac{1}{50,0} = \frac{1}{20,0}$$

$$\frac{1}{p} = \frac{1}{20,0} + \frac{1}{50,0} = \frac{5+2}{100,0} \Rightarrow \boxed{p = \frac{100,0}{7} \text{ (cm)}}$$

$$(II) \frac{i}{o} = -\frac{p'}{p} \Rightarrow \frac{i}{2,0} = -\frac{(-50,0)}{\frac{100,0}{7}}$$

Da qual:  $\boxed{i = 7,0 \text{ cm}}$

**Resposta: A**



- 2 (UNESP)** – Uma lente divergente tem uma distância focal de  $-20\text{cm}$ . Um objeto de  $2\text{cm}$  de altura é colocado frontalmente a  $30\text{cm}$  da lente. Determine
- a posição da imagem desse objeto;
  - a altura da imagem desse objeto.

**RESOLUÇÃO:**

a) Utilizando a Equação de Gauss, vem:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \Rightarrow \frac{1}{-20} = \frac{1}{30} + \frac{1}{p'}$$

$$\frac{1}{p'} = \frac{-3-2}{60} = -\frac{5}{60} \Rightarrow \boxed{p' = -12\text{cm}}$$

Imagem virtual a  $12\text{cm}$  do vértice da lente.

b) Utilizando a equação do aumento linear transversal, vem:

$$\frac{i}{o} = \frac{-p'}{p} \Rightarrow \frac{i}{2} = -\frac{(-12)}{30} \Rightarrow \boxed{i = 0,8\text{cm}}$$

Respostas: a)  $12\text{cm}$  da lente (virtual)    b)  $0,8\text{cm}$

- 3 (VUNESP-FMJ)** – Um fotógrafo utiliza uma máquina fotográfica, cuja lente apresenta distância focal de  $50\text{mm}$ , para fotografar um objeto que possui  $1,0\text{m}$  de altura. Se a imagem projetada no filme apresenta  $2,5\text{cm}$  de altura, a distância em que o objeto deve estar posicionado em relação à lente será, em metros, aproximadamente igual a
- $2,1$
  - $3,5$
  - $5,3$
  - $7,2$
  - $8,0$

**RESOLUÇÃO:**

O aumento linear transversal, provocado pela lente (convergente) da câmara é dado por:

$$A = \frac{i}{o} \quad \text{ou} \quad A = \frac{f}{f-p}$$

$$\text{Logo: } \frac{i}{o} = \frac{f}{f-p}$$

A imagem projetada sobre o filme é invertida e, por isso, a relação  $i/o$  é negativa.

$$-\frac{2,5}{100} = \frac{5,0}{5,0-p} \Rightarrow -5,0 + p = 200$$

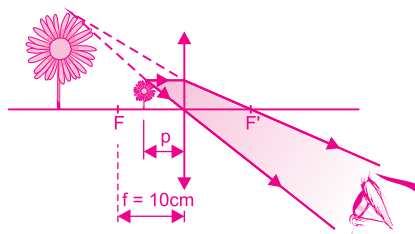
$$p = 205\text{cm} = 2,05\text{m} \Rightarrow \boxed{p \cong 2,1\text{m}}$$

Resposta: A

- 4 (UFJF-MODELO ENEM)** – Um botânico quer observar detalhes em uma pequena flor. Para isso, ele necessita ampliar cinco vezes a imagem dessa flor. Considerando-se que ele usa uma lupa, cuja lente esférica é delgada e convergente, com distância focal igual a  $10\text{cm}$ , a que distância da lupa deve ficar a flor para se conseguir a ampliação desejada?
- $2,0\text{ cm}$
  - $4,0\text{ cm}$
  - $6,0\text{ cm}$
  - $8,0\text{ cm}$
  - $12\text{ cm}$

**RESOLUÇÃO:**

A situação proposta está esquematizada abaixo.



$$A = \frac{f}{f-p} \Rightarrow 5 = \frac{10}{10-p} \Rightarrow 10-p = 2,0 \Rightarrow \boxed{p = 8,0\text{cm}}$$

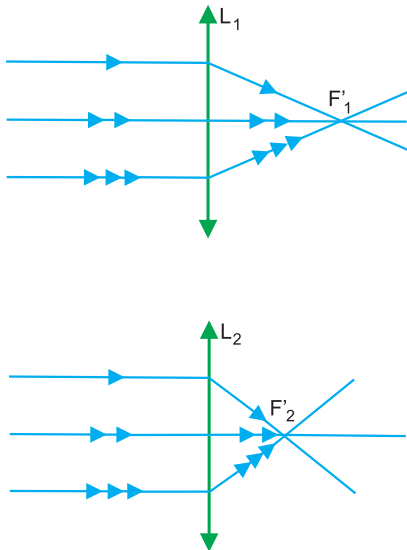
Resposta: D

## Palavras-chave:

- $V = \frac{1}{f}$  Vergência
- Justaposição  $V_{eq} = V_1 + V_2$

## 1. Introdução

É sabido que quanto menor é a distância focal de uma lente, mais abruptamente ela converge ou diverge raios de luz paralelos, isto é, "quanto menor sua distância focal, maior é seu poder de convergir ou divergir raios de luz".



A lente  $L_2$  é mais convergente que a lente  $L_1$ , pois, tendo menor distância focal, converge mais abruptamente os raios de luz.

Para medir o poder de uma lente em convergir raios

de luz, define-se uma nova grandeza, que será denominada **vergência** ou **convergência** da lente.

Define-se vergência ( $V$ ) de uma lente como o inverso de sua distância focal.

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

## 2. Unidade de vergência

Sendo a distância focal  $f$  um comprimento, a vergência tem dimensão do inverso do comprimento.

Sua unidade de medida é o  $\text{cm}^{-1}$  ou o  $\text{m}^{-1}$ .

Esta última unidade,  $\text{m}^{-1}$  (inverso do metro), é a usual na prática, recebendo a denominação de **dioptria** e sendo representada por di.

## 3. Lentes justapostas

Para uma associação de lentes delgadas justapostas, a vergência da associação é igual à soma algébrica das vergências das lentes associadas.

Por exemplo, para duas lentes justapostas, escrevemos:

$$V = V_1 + V_2$$

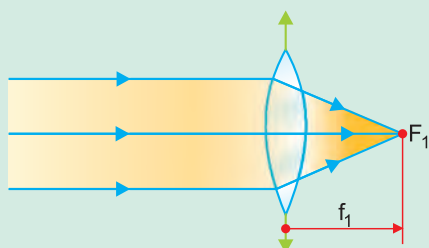
$$\frac{1}{f} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2}$$

## Exercício Resolvido

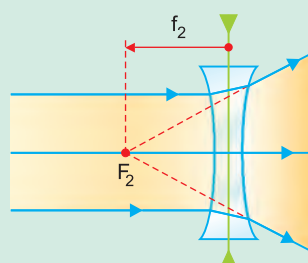
1 Justapõem-se duas lentes delgadas cujas distâncias focais são  $+10\text{cm}$  e  $-20\text{cm}$ , respectivamente. Qual a distância focal equivalente?

## Resolução

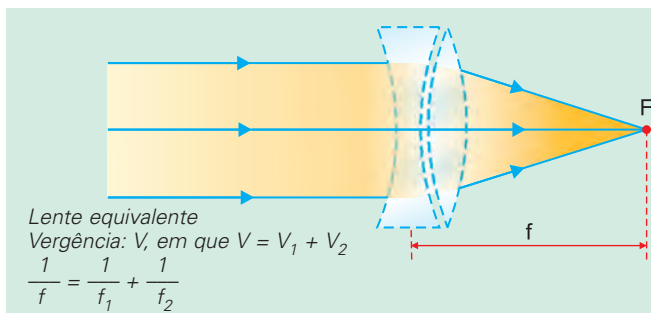
## • Associação de lentes



Lente convergente  
Vergência:  $V_1$   
 $V_1 = \frac{1}{f_1}$



Lente divergente  
Vergência:  $V_2$   
 $V_2 = \frac{1}{f_2}$



A vergência equivalente ( $V_{eq}$ ) da associação pode ser determinada pelo teorema das vergências, assim:

$$V_{eq} = V_1 + V_2$$

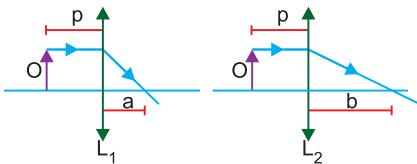
$$\frac{1}{f_{eq}} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} \Rightarrow \frac{1}{f_{eq}} = \frac{1}{10} - \frac{1}{20} \text{ (cm)}^{-1}$$

$$\frac{1}{f_{eq}} = \frac{2-1}{20} \text{ (cm)}^{-1} \Rightarrow f_{eq} = 20\text{cm}$$

**Resposta: 20cm**

## Exercícios Propostos

**1 (PUC-RJ)** – Nas figuras abaixo, o objeto O é colocado a uma mesma distância de duas lentes convergentes,  $L_1$  e  $L_2$ . Um raio luminoso incide paralelamente sobre o eixo principal das lentes.



Sabendo-se que  $b > a$ , a respeito das vergências  $V_1$  e  $V_2$ , das lentes  $L_1$  e  $L_2$ , respectivamente, pode-se afirmar que:

- a)  $V_2 > V_1$       b)  $V_2 = V_1$       c)  $V_2 < V_1$   
 d)  $V_2 = 2V_1$       e)  $V_2 = V_1/2$

**RESOLUÇÃO:**

$$b > a \Rightarrow f_2 > f_1 \Rightarrow \frac{1}{f_2} < \frac{1}{f_1} \Rightarrow \boxed{V_2 < V_1}$$

**Resposta: C**

**2 (MACKENZIE-SP)** – Uma lente esférica delgada de convergência 10 di é utilizada para obter a imagem de um objeto de 15 cm de altura. A distância a que o objeto deve estar do centro óptico da lente para se obter uma imagem invertida com 3 cm de altura é de

- a) 60 cm      b) 50 cm      c) 42 cm      d) 24 cm      e) 12 cm

**RESOLUÇÃO:**

$$(I) V = \frac{1}{f} \Rightarrow 10 = \frac{1}{f} \Rightarrow \boxed{f = 0,10\text{m} = 10\text{cm}}$$

$$(II) \frac{i}{o} = \frac{f}{f-p} \Rightarrow -\frac{3}{15} = \frac{10}{10-p}$$

$$-10 + p = 50 \Rightarrow \boxed{p = 60\text{cm}}$$

A relação  $\frac{i}{o}$  é negativa porque a imagem é invertida.

**Resposta: A**

**3 (VUNESP)** – Duas lentes delgadas, uma convergente e outra divergente, com distâncias focais respectivamente iguais a 1,0m e - 2,0m, encontram-se justapostas. Um objeto é colocado a 3,0m das lentes. A distância entre a imagem e o sistema de lentes (considerado de espessura desprezível) vale: a) 0,54m    b) 0,65m    c) 0,76m    d) 1,2m    e) 6,0m

**RESOLUÇÃO:**

(I) Utilizando o teorema das vergências, vem:

$$V_{eq} = V_1 + V_2$$

$$\frac{1}{f_{eq}} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} \Rightarrow \frac{1}{f_{eq}} = \frac{1}{1,0} - \frac{1}{2,0}$$

$$\boxed{f_{eq} = 2,0\text{m}}$$

(II) Pela Equação de Gauss, temos:

$$\frac{1}{f_{eq}} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \Rightarrow \frac{1}{2,0} = \frac{1}{3,0} + \frac{1}{p'} \quad \boxed{p' = 6,0\text{m}}$$

**Resposta: E**

**4 (UFMG)** – Ao associar duas lentes delgadas de distâncias focais  $f_1 = 10$  cm e  $f_2 = 40$  cm, ambas convergentes, você obtém um sistema equivalente a uma lente de convergência:

- a) 0,125 di    b) 2,0 di    c) 8,0 di    d) 12,5 di    e) 50 di

**RESOLUÇÃO:**

$$f_1 = 10\text{cm} = 0,10\text{m} \Rightarrow V_1 = \frac{1}{f_1} = \frac{1}{0,10} \Rightarrow \boxed{V_1 = 10 \text{ di}}$$

$$f_2 = 40\text{cm} = 0,40\text{m} \Rightarrow V_2 = \frac{1}{f_2} = \frac{1}{0,40} \Rightarrow \boxed{V_2 = 2,5 \text{ di}}$$

$$V_{eq} = V_1 + V_2 \Rightarrow V_{eq} = 10 + 2,5 \Rightarrow \boxed{V_{eq} = 12,5 \text{ di}}$$

**5 (UFSE-MODELO ENEM)** – A medida da vergência ou convergência de uma lente é dada em dioptrias, a qual na linguagem popular, é conhecida como “grau”. A dioptria é definida como o inverso da distância focal, medida em metros. Logo, a vergência de uma lente convergente de 25 cm de distância focal, em dioptrias, é:  
 a) 0,040    b) 0,25    c) 0,40    d) 2,5    e) 4,0

**RESOLUÇÃO:**

Da definição de vergência, temos:

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

Para que a unidade de vergência seja a dioptria, a distância focal deve ser medida em metros, assim:

$$V = \frac{1}{25 \cdot 10^{-2}} \text{ (di)} \Rightarrow V = \frac{100}{25} \text{ (di)} \Rightarrow V = 4,0 \text{ di}$$

**Resposta: E**

**Módulo**

**28**

**Lentes esféricas -  
Equação de Halley**

**Palavras-chave:**

- $\frac{1}{f} = \left(\frac{n_2}{n_1} - 1\right) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)$
- Curvatura • Material da lente

**1. Equação de Halley ou dos “fabricantes de lentes”**

A distância focal de uma lente depende

- do material de que a lente é feita, representado por seu índice de refração absoluto ( $n_2$ );
- do meio externo que envolve a lente, representado por seu índice de refração absoluto ( $n_1$ );
- da geometria da lente, representada pelos raios de curvatura,  $R_1$  e  $R_2$ .

O valor da distância focal ( $f$ ) é calculado pela Equação de Halley ou dos “fabricantes das lentes”:

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

Convenção de sinais: face convexa:  $R > 0$

face côncava:  $R < 0$

face plana:  $\frac{1}{R} \rightarrow 0$

**Exercícios Resolvidos**

**1 (ITA)** – Uma vela encontra-se a uma distância de 30cm de uma lente plano-convexa que projeta uma imagem nítida de sua chama em uma parede a 1,2m de distância da lente. Qual é o raio de curvatura da parte curva da lente se o índice de refração dela, em relação ao meio externo, é 1,5?  
 a) 60cm    b) 30cm    c) 24cm  
 d) 12cm    e) 10cm

**Resolução**

Do enunciado, temos:

$p = 30\text{cm}$

$p' = +1,2\text{m} = +120\text{cm}$  (a imagem projetada é de natureza real).

Assim:

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

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{30} + \frac{1}{120} \text{ (cm)}^{-1}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{4+1}{120} \text{ (cm)}^{-1} \Rightarrow \mathbf{f = 24\text{cm}}$$

Podemos, agora, determinar o raio da face curva  $R_1$  por meio da Equação de Halley.

$$\frac{1}{f} = (n_{2,1} - 1) \cdot \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)$$

em que  $R_2 \rightarrow \infty$  (face plana) e  $1/R_2 \rightarrow 0$

$$\frac{1}{24} = (1,5 - 1) \cdot \left(\frac{1}{R_1} + 0\right) \text{ (cm)}^{-1}$$

portanto:

$$\frac{1}{24} = \frac{0,5}{R_1} \text{ (cm)}^{-1} \Rightarrow \mathbf{R_1 = 12\text{cm}}$$

**Resposta: D**

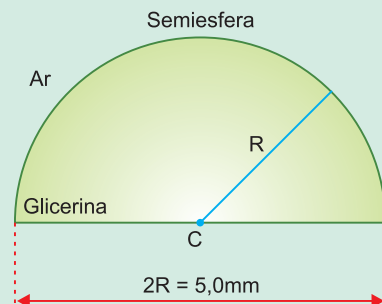
**2 (UNESP-MODELO ENEM)** – É possível improvisar uma objetiva para a construção de um microscópio simples, pingando uma gota de glicerina dentro de um furo circular de 5,0 mm de diâmetro, feito com um furador de papel em um pedaço de folha de plástico. Se apoiada sobre uma lâmina de vidro, a gota adquire a forma de uma semi-esfera. Dada a equação dos fabricantes de lentes para lentes imersas no ar,

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

e sabendo que o índice de refração da glicerina é 1,5, a lente plano-convexa obtida com a gota terá vergência  $C$ , em unidades do SI, de  
 a) 200 di.    b) 80 di.    c) 50 di.  
 d) 20 di.    e) 10 di.

**Resolução**

A lente plano-convexa em questão tem o formato representado abaixo.



$$2R = 5,0\text{mm} \Rightarrow R = 2,5\text{mm} = 2,5 \cdot 10^{-3}\text{m}$$

$$C = (1,5 - 1) \left( \frac{1}{2,5 \cdot 10^{-3}} + \frac{1}{\infty} \right) \text{ (di)} \quad \text{Da qual: } \boxed{C = 200 \text{ di}}$$

tende  
a zero

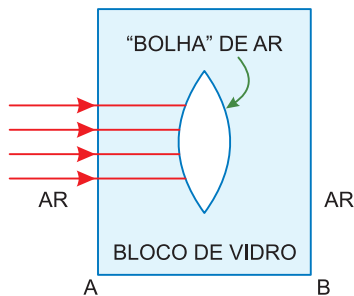
Aplicando-se a Equação de Halley fornecida no enunciado, vem:

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

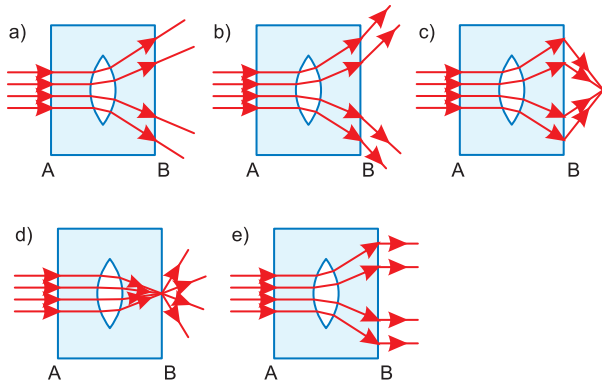
Resposta: A

## Exercícios Propostos

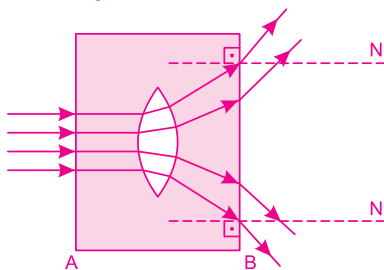
**1 (MACKENZIE-SP-MODELO ENEM)** – Na produção de um bloco de vidro *flint*, de índice de refração absoluto 1,7, ocorreu a formação de uma “bolha” de ar (índice de refração absoluto 1,0), com o formato de uma lente esférica biconvexa. Um feixe luminoso monocromático, paralelo, incide perpendicularmente à face A do bloco, conforme a figura abaixo, e, após passar pelo bloco e pela bolha, emerge pela face B.



A figura que melhor representa o fenômeno é:



RESOLUÇÃO:



Como o índice de refração da lente (1,0) é menor que o do meio (1,7), a lente biconvexa terá comportamento divergente. Ao sair do bloco de vidro *flint*, os raios de luz irão passar para o ar (índice de refração menor), afastando-se da normal.

Resposta: B

**2 (VUNESP-UFTM)** – Uma lente delgada convexo-côncava, de vidro *flint*, com índice de refração  $n = 1,6$ , encontra-se imersa no ar. Se o raio de sua superfície côncava é igual a 20,0cm e sua vergência é  $C = -1,8\text{di}$ , o raio de curvatura da superfície convexa tem valor, em cm, igual a

- a) -30,0   b) -20,0   c) -10,0   d) +20,0   e) +50,0

RESOLUÇÃO:

$$\text{Equação de Halley: } C = \left( \frac{n}{n_{\text{meio}}} - 1 \right) \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

$$-1,8 = \left( \frac{1,6}{1,0} - 1 \right) \left( -\frac{1}{0,20} + \frac{1}{R_2} \right)$$

$$-3,0 = -5,0 + \frac{1}{R_2} \Rightarrow \frac{1}{R_2} = 2,0 \Rightarrow \boxed{R_2 = 0,50\text{m} = 50,0\text{cm}}$$

Resposta: E

**3 (Olimpíada Brasileira de Física)** – De um livro de 30cm de altura, uma lente convergente plano-convexa de vidro ( $n_v = 1,5$ ), imersa no ar, forma uma imagem real com 10cm de altura a uma distância de 12 cm da lente.

- a) Qual o valor, em cm, da distância focal da lente convergente?  
b) Qual o valor do raio de curvatura da superfície convexa da lente?

RESOLUÇÃO:

a) (I) A imagem é invertida, logo, a relação  $i/o$  é negativa.

$$\frac{i}{o} = -\frac{p'}{p} \Rightarrow -\frac{10}{30} = -\frac{12}{p} \Rightarrow \boxed{p = 36\text{cm}}$$

(II) Equação de Gauss:  $\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'}$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{36} + \frac{1}{12} \Rightarrow \frac{1}{f} = \frac{1+3}{36} = \frac{4}{36}$$

Da qual:  $\boxed{f = 9,0\text{cm}}$

b) Equação de Halley:

$$\frac{1}{f} = \left( \frac{n_v}{n_{ar}} - 1 \right) \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

$$\frac{1}{9,0} = \left( \frac{1,5}{1,0} - 1 \right) \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{\infty} \right)$$

tende a zero

$$\frac{1}{9,0} = \frac{1}{2R_1} \Rightarrow R_1 = 4,5\text{cm}$$

Respostas: a) 9,0cm    b) 4,5cm

4 (UNIFESP-MODELO ENEM) – Tendo-se em vista que as lentes são, na prática, quase sempre usadas no ar, a equação dos fabricantes de lentes costuma ser escrita na forma:

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

Nessas condições, pode-se afirmar

que a convergência de uma lente plano-convexa de índice de refração  $n = 1,5$  e cujo raio da face convexa é  $R = 20$  cm é

- a) 0,50 di      b) 1,0 di      c) 1,5 di  
d) 2,0 di      e) 2,5 di

### RESOLUÇÃO

Para uma lente plano-convexa, a parcela  $\frac{1}{R_1}$  referente à face plana é nula.

Isto posto, temos:

$$C = (n - 1) \left( \frac{1}{R} \right) \Rightarrow C = (1,5 - 1) \left( \frac{1}{0,20} \right) \text{ (di)} \Rightarrow C = 0,5 \cdot 5,0 \text{ di}$$

$$C = 2,5 \text{ di}$$

Resposta: E

## Módulo

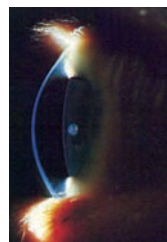
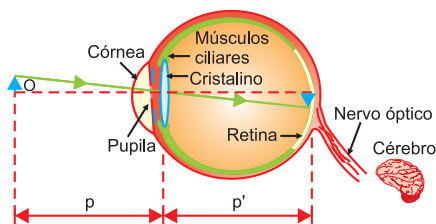
# 29

## Óptica da visão I

### Palavras-chave:

- Fisiologia
- Acomodação

## 1. Representação esquemática do olho



Córnea

Nesta representação, destacamos apenas as partes mais importantes na formação das imagens, indicando sua função óptica.

O esquema apresentado é denominado "**olho reduzido**".

a) **Cristalino**: é uma lente convergente, do tipo biconvexa.

De um objeto real, esta lente deve produzir uma imagem real sobre a retina.

b) **Pupila**: comporta-se como um diafragma, controlando a quantidade de luz que penetra no olho.

c) **Retina**: é a parte sensível à luz, onde deve formar-se a imagem. Comporta-se como um anteparo sensível à luz.



d) **Músculos ciliares**: comprimem convenientemente o cristalino, alterando sua distância focal.

A distância da retina ao cristalino é constante e da ordem de 1,5cm e corresponde à abscissa da imagem  $p'$ .

*Os cones e bastonetes são as células sensoriais da visão. Situadas na retina, essas células transformam a informação luminosa sobre elas incidente em informação elétrica que escoa para o cérebro através do nervo óptico.*

*Na foto ao lado, tem-se um aspecto de cones e bastonetes vistos ao microscópio com ampliação de 1600 vezes.*

## 2. Acomodação visual

Como já ressaltamos, a abscissa  $p'$  da imagem (distância do cristalino à retina) é constante e, como a abscissa  $p$  do objeto assume valores distintos, conforme a particular posição do objeto visado, a equação

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

mostra-nos que a distância focal do cristalino deve ser variável.

Para cada valor de  $p$ , a distância focal  $f$  assume um valor conveniente, para que a imagem se forme exatamente sobre a retina.

A variação da distância focal do cristalino é feita com a intervenção dos músculos ciliares.

Sendo  $p' = \text{constante}$ , percebemos pela Equação de Gauss que quanto menor for  $p$  (objeto mais próximo da vista), menor deverá ser a correspondente distância focal  $f$ .

Assim, à medida que aproximamos o objeto do olho, os músculos ciliares comprimem o cristalino, diminuindo o raio de curvatura das faces e também a distância focal  $f$ .

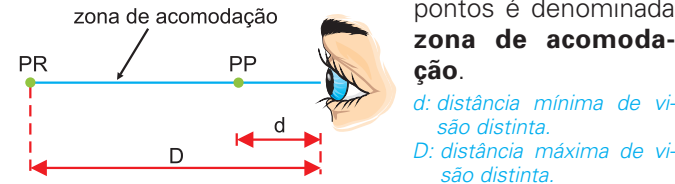
O trabalho realizado pelos músculos ciliares, de variação da distância focal do cristalino, é denominado "**acomodação visual**".

## 3. Ponto remoto e ponto próximo

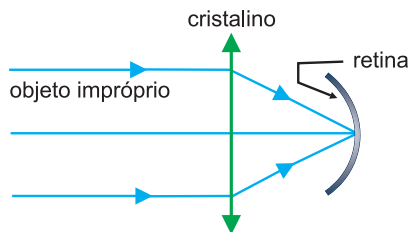
**Ponto remoto (PR)** é o ponto mais afastado que o olho vê, com nitidez, estando os músculos ciliares relaxados.

**Ponto próximo (PP)** é o ponto mais próximo da vista para a qual a imagem é nítida, estando os músculos ciliares com máxima contração.

Para que um objeto possa ser visto com nitidez, ele deve situar-se entre o ponto próximo e o ponto remoto do olho. A região do espaço compreendida entre tais pontos é denominada



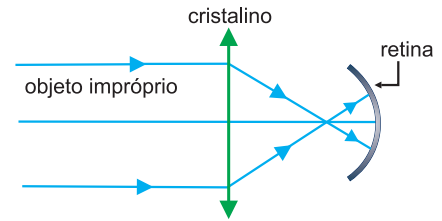
Para o olho normal, o ponto remoto está no infinito ( $D \rightarrow \infty$ ) e o ponto próximo está a uma distância convencional  $d = 25\text{cm}$ .



## 4. Miopia

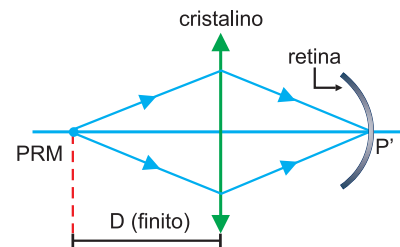
A miopia é um defeito da visão que consiste em um excesso de convergência do sistema refrator do olho, que pode ser comparado a um achatamento do globo ocular.

Há um afastamento da retina em relação ao cristalino e, com isso, a imagem de um objeto impróprio se forma aquém da retina e, portanto, não é nítida.



Para o míope, o ponto remoto está a uma distância finita, maior ou menor, conforme o grau de miopia.

Quando o objeto está no ponto remoto do míope, a imagem forma-se nítida na retina, com os músculos ciliares relaxados (condições de visão mais cômoda).



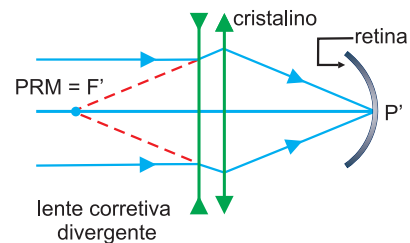
PRM = ponto remoto do olho míope.

$D$  = distância máxima de visão distinta do olho míope.

$P'$  = imagem nítida do ponto remoto sobre a retina.

Como a distância focal máxima do cristalino está sendo demasiado pequena, isto é, sua vergência é maior do que a ideal, a correção é feita com o uso de uma **lente divergente**.

Tal lente divergente deve fornecer, de um objeto impróprio, uma imagem virtual no ponto remoto do olho. Esta imagem virtual se comporta como objeto real para o olho, dando uma imagem final real e nítida sobre a retina.

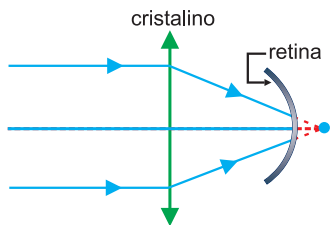


De um objeto impróprio, a lente corretiva divergente dá uma imagem em seu foco imagem; como tal imagem vai ser objeto para o olho, ela deverá coincidir com o ponto remoto do olho míope ( $\text{PRM} \equiv F'$ ).

A lente corretiva tem distância focal  $f = -D$ , em que  $D$  é a distância máxima da visão distinta para o olho míope.

## 5. Hipermetropia

A hipermetropia é um defeito da visão que consiste na falta de convergência do sistema refrator do olho, que pode ser comparado a um encurtamento do globo ocular.



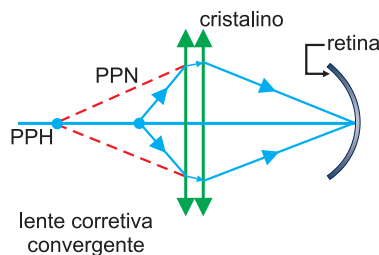
O problema do hipermetrope não é a visão de objetos distantes, pois, com uma acomodação conveniente, a distância focal do sistema é reduzida, possibilitando a visão nítida do objeto impróprio.

A dificuldade reside no afastamento do ponto próximo.

A distância focal mínima do sistema é maior do que deveria ser, fazendo com que a visão de objetos próximos não seja possível, com nitidez.

Nesse caso, a vergência do sistema deve ser aumentada, com o uso de uma **lente corretiva convergente**. Tal lente convergente deve fornecer, de um objeto real, situado no ponto próximo do olho normal, uma imagem virtual, no ponto próximo do olho hipermetrope.

Esta imagem se comporta como objeto real para o olho, dando uma imagem final nítida sobre a retina.



PPN = ponto próximo do olho normal (emetrope).

PPH = ponto próximo do olho hipermetrope.

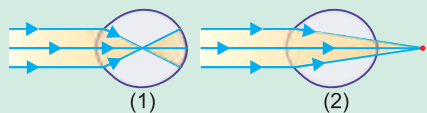
Se  $d = 25\text{cm}$  a distância mínima de visão distinta para o olho normal,  $d_H$  a distância mínima de visão distinta para o olho hipermetrope e  $f$  a distância focal da lente corretiva, teremos:

$$p = d = 25\text{cm} \quad p' = -d_H \text{ (imagem virtual)}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{25} - \frac{1}{d_H} \quad (\text{CGS})$$

## Exercícios Resolvidos

1 (PUC-SP) – Os esquemas correspondem a um olho míope (1) e um olho hipermetrope (2).



As lentes corretivas devem ser, respectivamente, para (1) e (2),

- a) divergente e convergente.
- b) divergente e divergente.
- c) biconvexa e bicôncava.

- d) convergente e divergente.
- e) convergente e convergente.

Resposta: A

2 (FUVEST) – Na formação das imagens na retina da vista humana normal, o cristalino funciona como uma lente

- a) convergente, formando imagens reais, diretas e diminuídas.
- b) divergente, formando imagens reais, diretas e diminuídas.
- c) convergente, formando imagens reais, invertidas e diminuídas.

- d) divergente, formando imagens virtuais, diretas e ampliadas.
- e) convergente, formando imagens virtuais, invertidas e diminuídas.

Resolução

O cristalino funciona como uma lente convergente que fornece, de um objeto real, uma imagem também real e, portanto, invertida (quando objeto e imagem têm mesma natureza, a imagem é invertida). A imagem é reduzida por ter abscissa gaussiana menor do que a do objeto ( $p' < p$ ).

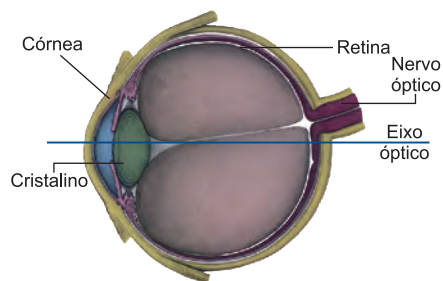
Resposta: C

## Exercícios Propostos

1 (UFPA) – O olho humano pode ser considerado, de forma simplificada, como um sistema óptico que atua como uma lente biconvexa. Para que a imagem de um objeto se forme **sempre** na retina, é necessário que a vergência do globo ocular se altere. Um objeto muito distante (**no infinito**) pode-se aproximar de um observador até o **ponto próximo**, distância mínima necessária para visão distinta. Para uma pessoa de visão normal, o ponto próximo pode ser assumido como **25cm**. A **variação da vergência** do globo ocular durante esse processo é denominada **amplitude de acomodação visual**.

Com base no enunciado, responda:

- a) Quais as características da imagem formada na retina?
- b) Enquanto o objeto se aproxima do olho do observador, o que acontece com os raios de curvatura da lente do globo ocular (**não se alteram, aumentam ou diminuem**)?

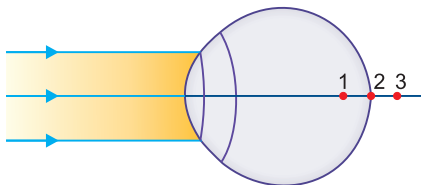


RESOLUÇÃO:

- a) Real, invertida e menor.
- b) Diminuem para aumentar a vergência.



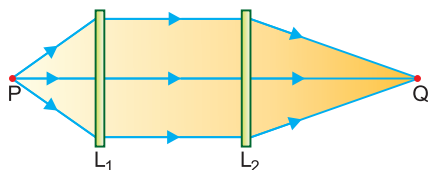
**2 (PUC-RJ-MODELO ENEM)** – O esquema a seguir representa um olho humano que observa, sem o auxílio de lentes artificiais, um objeto distante. A acomodação visual é tal que o cristalino se apresenta com a sua máxima distância focal. Nestas condições, qual das opções a seguir relaciona corretamente o ponto (1, 2 ou 3) em que se forma a imagem do objeto com o tipo de visão (miópe, normal e hipermetrope) do observador?



	visão míope	visão normal	visão hipermetrope
a)	1	2	3
b)	1	3	2
c)	2	1	3
d)	2	3	1
e)	3	2	1

**Resposta: A**

**3 (UFMG)** – Dois defeitos visuais bastante comuns no ser humano são a miopia e a hipermetropia. Num olho míope, a imagem é formada antes da retina, enquanto num olho hipermetrope, a imagem é formada depois da retina.



Na figura, estão representados três raios de luz emergindo de uma fonte localizada em P, passando pelas lentes delgadas  $L_1$  e  $L_2$  e atingindo Q.

Com relação às lentes  $L_1$  e  $L_2$ , a afirmativa correta é

- $L_1$  e  $L_2$  podem corrigir hipermetropia.
- $L_1$  e  $L_2$  podem corrigir miopia.
- $L_1$  pode corrigir hipermetropia e  $L_2$ , miopia.
- $L_1$  pode corrigir miopia e  $L_2$ , hipermetropia.

**Resposta: A**

**4 (UEM-MODELO ENEM)** – No olho humano, as imagens formam-se na retina e depois são analisadas no cérebro. No entanto, defeitos da visão fazem com que a formação das imagens se dê antes da retina, depois dela, ou ainda que apresente distorções de simetria. Esses defeitos são identificados, respectivamente, como miopia, hipermetropia e astigmatismo e podem ser corrigidos, eventualmente, com cirurgias ou com o uso de lentes. As lentes recomendadas para a correção dos citados defeitos são, respectivamente,

- divergentes, convergentes e cilíndricas.
- convergentes, cilíndricas e divergentes.
- cilíndricas, divergentes e convergentes.
- convergentes, divergentes e cilíndricas.
- cilíndricas, convergentes e divergentes.

**RESOLUÇÃO:**

**Correção da miopia: lentes divergentes**

**Correção da hipermetropia: lentes convergentes**

**Correção do astigmatismo: lentes cilíndricas**

**Resposta: A**

**5 (UEPG-PR-MODELO ENEM)** – O olho humano pode ser considerado um conjunto de meios transparentes, separados um do outro por superfícies sensivelmente esféricas, que podem apresentar alguns defeitos tais como miopia, daltonismo, hipermetropia etc. O presbiopismo é causado por

- achatamento do globo ocular.
- alongamento do globo ocular.
- ausência de simetrias em relação ao eixo ocular.
- endurecimento do cristalino.
- insensibilidade ao espectro eletromagnético da luz.

**Resposta: D**

**6** A característica do globo ocular que possibilita a visão cinematográfica é:

- estrabismo;
- persistência retiniana;
- adaptação retiniana.
- hipermetropia;
- acomodação rápida.

**Resposta: B**

**7 (MODELO ENEM)** – Os cães veem o mundo de uma perspectiva diferente da nossa. As diferenças se devem à estrutura do olho.



As células responsáveis pela visão de cores são denominadas cones. Enquanto a espécie humana possui três tipos de cones, capazes de captar as cores vermelho, verde e azul, os cães possuem apenas dois. A hipótese mais aceita é a de que os cães são capazes de enxergar apenas o azul e o amarelo, sendo as demais cores detectadas como variações de cinza.

Visão canina das cores



Visão humana das cores



700 600 500 400

Comprimento de onda (nm)

Os cães também podem apresentar miopia, hipermetropia, astigmatismo e catarata. Para a correção desses defeitos de visão, estão sendo utilizadas lentes intraoculares projetadas especialmente para cães.

Assinale a alternativa correta.

- a) O seres humanos só conseguem enxergar três cores: vermelho, verde e azul.

- b) A luz branca, ao ser refletida por uma rosa vermelha, é percebida da mesma maneira por cães e por humanos.  
 c) A miopia é um defeito visual que só ocorre em humanos.  
 d) A luz branca, ao ser refletida por uma rosa amarela, é enxergada pelos cães como se fosse cinza.  
 e) Um objeto azul é enxergado por humanos e pelos cães com tonalidade azul.

**RESOLUÇÃO:**

- a) **FALSA.** Os humanos enxergam outras cores por meio das combinações do vermelho, do verde e do azul.  
 b) **FALSA.** Os cães verão a rosa com tonalidade cinza.  
 c) **FALSA.** De acordo com o texto, também ocorre com os cães.  
 d) **FALSA.** Os cães conseguem enxergar o azul e o amarelo.  
 e) **VERDADEIRA.** O azul é visto por homens e cães.

Resposta: E



**No Portal Objetivo**

Para saber mais sobre o assunto, acesse o **PORTAL OBJETIVO** ([www.portal.objetivo.br](http://www.portal.objetivo.br)) e, em "localizar", digite **FIS2M203**

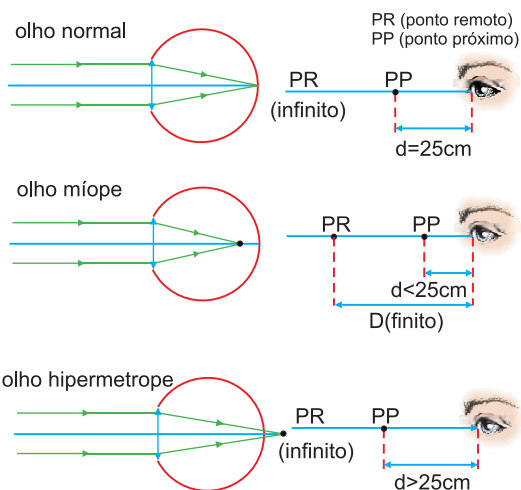
**Módulo**

**30**

**Óptica da visão II**

**Palavras-chave:**

- Miopia • Hipermetropia



	Lente corretiva	Distância focal
Miopia	divergente	$f = -D$
Hipermetropia	convergente	$\frac{1}{f} = \frac{1}{25} - \frac{1}{d}$ (CGS)

**Vergência ou "grau" dos óculos (regras práticas)**

Miopia	$V = -\frac{1}{D}$ (D em metros)	D: distância máxima de visão nítida do míope
Hipermetropia	$V = 4,0 - \frac{1}{d}$ (d em metros)	d: distância mínima de visão nítida do hipermetrope

## Exercícios Resolvidos

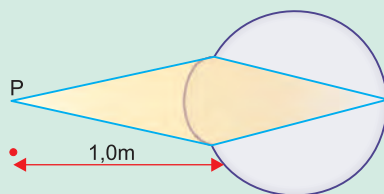
- 1 (EFOA-MODELO ENEM)** – Dentre os distúrbios visuais mais comuns estão a hipermetropia, a miopia e a presbiopia. A hipermetropia ocorre quando o olho é mais curto do que o normal, o que faz com que as imagens sejam focadas atrás da retina, e não sobre ela. A miopia deve-se a um alongamento excessivo do globo ocular ou a uma curvatura excessiva da córnea, de forma que a imagem do objeto visto é focada antes da retina. A presbiopia é a redução da capacidade de o olho, em função da idade, focalizar os objetos próximos, porque as imagens se formam atrás da retina. Para corrigir esses distúrbios visuais, devem-se usar, respectivamente, os seguintes tipos de lentes:
- convergente, divergente e divergente.
  - convergente, divergente e convergente.
  - divergente, divergente e convergente.
  - convergente, convergente e divergente.
  - divergente, convergente e convergente.

### Resolução

- Correção da hipermetropia: lentes convergentes
- Correção da miopia: lentes divergentes
- Correção da presbiopia: lentes convergentes

Resposta: B

- 2 (UNITAU-SP)** – A figura mostra a formação da imagem, num olho, de um ponto P distante 1,0m dele. (A figura não está em escala.)



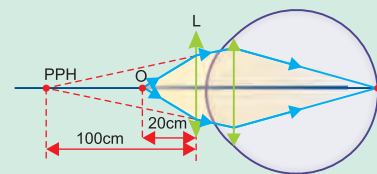
O cristalino, nessa situação, está abaulado ao máximo. Considerando que, na visão normal, enxerga-se com nitidez desde 20cm de distância até o infinito, que lente deve ser usada para corrigir a visão desse olho, se for o caso?

- Uma lente divergente de  $-1,0$  di (dioptria).
- Uma lente divergente de  $-2,0$  di.
- Uma lente convergente de  $1,0$  di.
- Uma lente convergente de  $4,0$  di.
- Não é preciso lente; o olho é emetropo.

### Resolução

Como o cristalino está na condição de máximo esforço visual, a distância fornecida de  $1,0\text{m}$  é o ponto próximo para este olho. Este ponto próximo está mais afastado do que em um olho normal; e este defeito é conhecido por hipermetropia.

A lente corretiva da hipermetropia é a convergente. Observe o esquema.



Para um objeto real colocado a  $20\text{cm}$  de distância do olho, a lente convergente deve fornecer uma imagem virtual situada sobre o ponto próximo do hipermetrope.

Da figura, temos:  $p = +20\text{cm}$  (objeto real)  
 $p' = -100\text{cm}$  (imagem virtual)

Assim: 
$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{20} - \frac{1}{100} \quad (\text{cm})^{-1}$$

$$\frac{1}{f} - \frac{4}{100} \quad (\text{cm})^{-1} \Rightarrow \boxed{f = 0,25\text{m}}$$

A vergência da lente é dada por:

$$V = \frac{1}{f} = \frac{1}{0,25} \quad (\text{di}) \quad \therefore \boxed{V = 4,0 \text{ di}}$$

Resposta: D

## Exercícios Propostos

- 1 (ACAFE-MODELO ENEM)** – O uso de óculos para corrigir defeitos da visão começou no final do século XIII e, como não se conheciam técnicas para o polimento do vidro, as lentes eram rústicas e forneciam imagens deformadas. No período da Renascença, as técnicas foram aperfeiçoadas e surgiu a profissão de fabricante de óculos. Para cada olho defeituoso, existe um tipo conveniente de lente que, associado a ele, corrige a anomalia.

Considere a receita a seguir, fornecida por um médico oftalmologista a uma pessoa com dificuldades para enxergar nitidamente objetos afastados.

		Lentes esféricas	Lentes cilíndricas	Eixo	DP
Longe	OD	$-2,0\text{di}$			
	OE	$-2,5\text{di}$			
Perto	OD				
	OE				

DP – Distância entre os eixos dos olhos

OD – Olho direito

OE – Olho esquerdo

Em relação ao exposto, é **incorreta** a alternativa:

- A pessoa apresenta miopia.
- A distância focal da lente direita tem módulo igual a  $50\text{cm}$ .
- As lentes são divergentes.
- Essas lentes podem funcionar como lentes de aumento.
- As imagens fornecidas por essas lentes serão virtuais.

### RESOLUÇÃO:

a) **CORRETA.**

Lentes com vergência negativa são indicadas para a correção da miopia.

b) **CORRETA.**

$$f = \frac{1}{V} \Rightarrow f_{\text{OD}} = \frac{1}{(-2,0)} \quad (\text{m}) = -\frac{100}{2,0} \quad (\text{cm})$$

$$f_{\text{OD}} = -50\text{cm} \Rightarrow \boxed{|f_{\text{OD}}| = 50\text{cm}}$$

c) **CORRETA.**

Lentes "negativas"  $\Rightarrow$  Divergentes

d) **INCORRETA.**

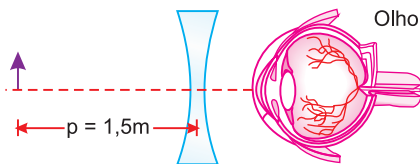
Para objetos reais, as imagens produzidas por lentes divergentes são sempre reduzidas (menores).

e) CORRETA.

As lentes divergentes utilizadas na correção da miopia fornecem imagens virtuais.

Resposta: D

**2 (UFPE)** – Uma pessoa com alto grau de miopia só pode ver objetos definidos claramente se a distância até o objeto, medida a partir do olho, estiver entre 15cm e 40cm. Para enxergar um objeto situado a 1,5m de distância, esta pessoa pode usar óculos com uma lente de distância focal  $f = -30\text{cm}$ . A que distância, em cm, à esquerda da lente (ver figura), se formará a imagem do objeto?



**RESOLUÇÃO:**

Equação de Gauss:

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

$$\frac{1}{150} + \frac{1}{p'} = -\frac{1}{30} \Rightarrow \frac{1}{p'} = -\frac{1}{30} - \frac{1}{150}$$

$$\frac{1}{p'} = \frac{-5 - 1}{150} = -\frac{6}{150} \Rightarrow \boxed{p' = -25\text{cm}}$$

$$d = |p'| = 25\text{cm}$$

Resposta: 25cm

**3 (VUNESP)** – Uma pessoa com **vista normal** consegue enxergar objetos, nitidamente, a partir de uma distância de 25cm (ponto próximo). Outra, com hipermetropia, usa óculos com 3 “graus” (dioptrias). Então, pode-se concluir que a lente usada nesta correção e o ponto próximo desta pessoa, em m, são, respectivamente:

- a) divergente; 0,3.      b) divergente; 1,0.  
c) convergente; 0,25.      d) convergente; 0,3.  
e) convergente; 1,0.

**RESOLUÇÃO:**

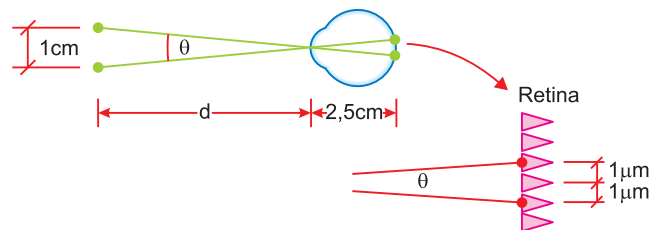
Correção da hipermetropia: lentes convergentes

$$V = \frac{1}{d_N} - \frac{1}{d_H} \Rightarrow 3,0 = \frac{1}{0,25} - \frac{1}{d_H}$$

$$\frac{1}{d_H} = 4,0 - 3,0 \Rightarrow \frac{1}{d_H} = 1,0 \therefore \boxed{d_H = 1,0\text{m}}$$

Resposta: E

**4 (UFJF-MODELO ENEM)** – De acordo com especialistas, para que o olho humano possa distinguir dois objetos pontiformes situados próximos um do outro, é preciso que a imagem de cada um deles se forme na retina em cones separados por pelo menos um cone, como ilustra a figura abaixo. Admita que a distância entre dois cones adjacentes seja igual a  $1\mu\text{m}$  ( $= 10^{-6}\text{m}$ ) e a distância entre a córnea e a retina seja de 2,5 cm.



De acordo com isso, qual é a maior distância  $d$  em que é possível distinguir objetos pontiformes separados por 1cm?

- a) 25m    b) 125m    c) 10cm    d) 30m    e) 2,5m

**RESOLUÇÃO:**

Semelhança de triângulos:  $\frac{d}{2,5\text{cm}} = \frac{1\text{cm}}{2 \cdot 10^{-4}\text{cm}} \Rightarrow d = 12500\text{cm}$

Da qual:  $\boxed{d = 125\text{m}}$

Resposta: B

## 1. Introdução

Os instrumentos de óptica destinam-se a melhorar as condições de visão dos objetos e podem ser classificados em duas categorias: de observação subjetiva e de projeção.

### a) Instrumentos de observação subjetiva

Tais instrumentos fornecem, de um objeto real, uma imagem final virtual. Esses instrumentos podem ser de dois tipos:

1º) **Instrumentos de aumento:** fornecem uma imagem ampliada em relação ao objeto.

Exemplos: **lupa** e **microscópio composto**.

2º) **Instrumentos de aproximação:** permitem a visão dos objetos distantes sob ângulo visual maior, embora a imagem seja reduzida em relação ao objeto.

Exemplos: **lunetas** e **telescópios**.

### b) Instrumentos de projeção

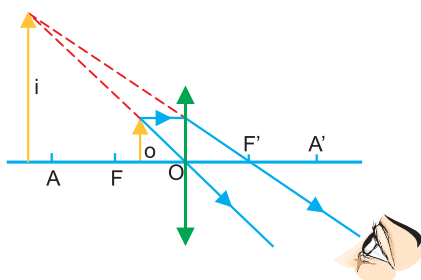
Tais instrumentos fornecem, de um objeto real, uma imagem final real que deve ser recebida em uma tela ou filme.

Exemplos: **projektor de "slides"** e **máquina fotográfica**.

## 2. Lupa

É constituída por uma única lente convergente ou por uma associação de duas lentes justapostas. A distância focal é da ordem de centímetro.

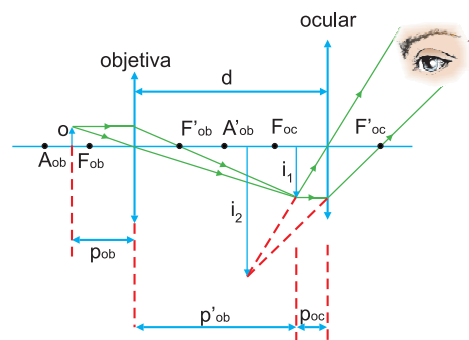
**De um objeto real colocado entre o foco objeto e o centro óptico, a lupa conjuga uma imagem virtual, direita e ampliada.**



## 3. Microscópio composto

É constituído por duas lentes (ou duas associações de lentes justapostas) convergentes: **a objetiva** (distância focal da ordem de milímetro) e **a ocular** (que funciona como lupa).

O objeto real **o** é colocado antes do foco objeto da objetiva ( $F_{ob}$ ). Esta conjuga uma imagem  $i_1$  real, ampliada e invertida. A imagem  $i_1$ , comporta-se como objeto real para a ocular que funciona como lupa.

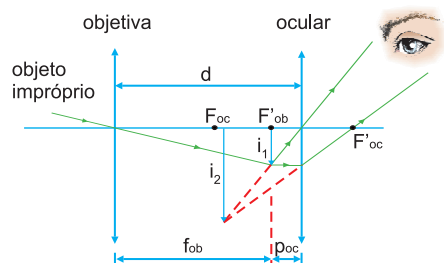


*Microscópio composto.*

## 4. Luneta astronômica

É constituída por duas lentes (ou duas associações de lentes justapostas): a **objetiva** (distância focal da ordem de metro) e a **ocular** (que funciona como lupa).

De um objeto impróprio, a objetiva conjuga uma imagem real  $i_1$ , situada no plano focal imagem da objetiva. A imagem  $i_1$  comporta-se como objeto real para a ocular, a qual funciona como lupa.

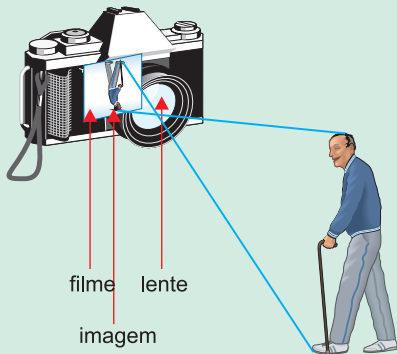


*Luneta astronômica.*

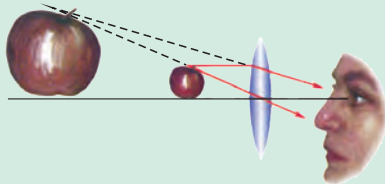
## Exercício Resolvido

**1 (MODELO ENEM)** – Analise as informações e as figuras com suas respectivas legendas abaixo.

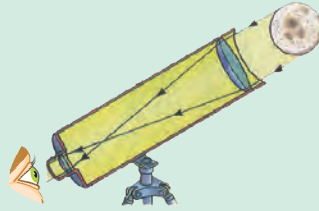
### SISTEMAS REFRACTORES



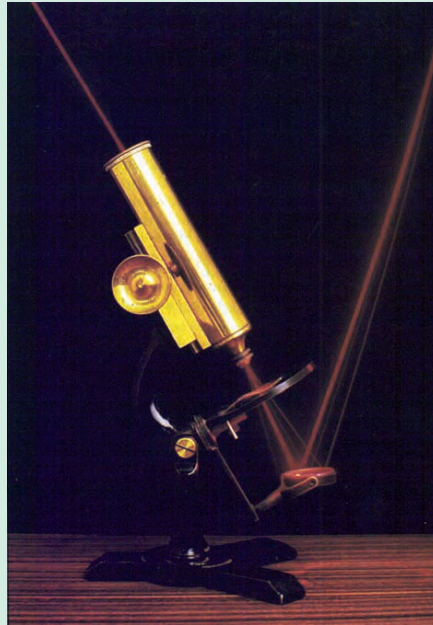
Nas máquinas fotográficas, devido à propagação retilínea da luz, as imagens são projetadas de forma invertida no filme, ou seja, são imagens reais.



A lupa transforma objetos reais em imagens virtuais.

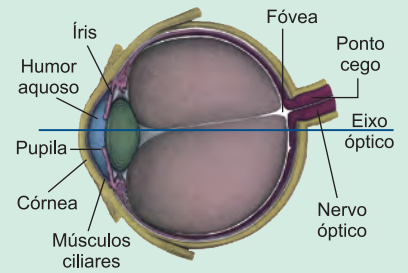


Objetos muito distantes como os astros definem pontos objetos impróprios.



Microscópio composto.

### GLOBO OCULAR HUMANO



O olho humano transforma pontos objetos reais e impróprios em pontos imagens reais.

Considere as proposições que se seguem:

- I) A imagem da lupa não pode ser projetada, pois é virtual.
- II) A luneta astronômica é um instrumento de aproximação.
- III) A imagem da objetiva do microscópio composto funciona como objeto para a lente ocular.
- IV) O olho humano e a máquina fotográfica produzem imagens reais invertidas e menores que o objeto.

São corretas:

- a) I e II, apenas.
- b) I, II e III, apenas.
- c) I, II, III e IV
- d) I e IV, apenas.
- e) II e III, apenas.

**Resposta: C**

## Exercícios Propostos

**1 (UFPEL)** – A lupa é um instrumento óptico barato, fácil de ser encontrado no comércio e com inúmeras utilidades. O modelo de lente delgada pode descrever com boa aproximação o funcionamento desse instrumento. Abaixo, tem-se o efeito da lupa.

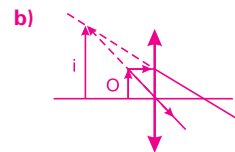
o telescópio restringiu a **imagem** do mundo. O microscópio ampliou-a.



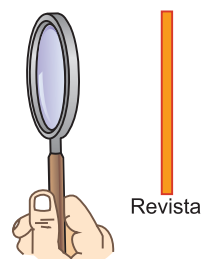
(Gilbert Keith Chesterton, escritor inglês, 1874-1976)

- a) Que tipo de lente delgada é usado em uma lupa?
- b) Faça a construção geométrica da imagem ampliada, que a lupa fornece, da letra **i** da palavra imagem.

**RESOLUÇÃO:**  
a) convergente



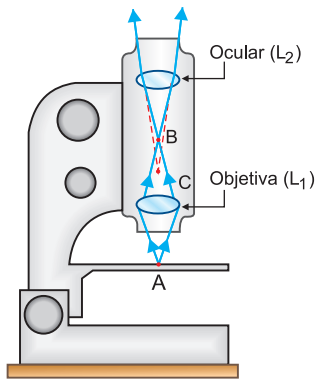
**2 (UERJ-MODELO ENEM)** – Uma pessoa utiliza uma lente convergente para a leitura da página de uma revista, como mostra a figura ao lado. A natureza e a posição da imagem formada pela lente são, respectivamente:



- a) virtual / entre a lente e a revista
- b) real / entre a lente e a revista
- c) virtual / à direita da revista
- d) real / à direita da revista

**Resposta: C**

**3 (CESGRANRIO)** – O esquema a seguir mostra a trajetória de dois raios luminosos no interior de um microscópio.



Nesse esquema, os pontos A, B e C podem ser classificados como OBJETO ou IMAGEM (REAL ou VIRTUAL) em relação à lente objetiva ( $L_1$ ) ou à lente ocular ( $L_2$ ). Assinale a opção que apresenta a classificação correta:

- a) A é objeto virtual em relação a  $L_1$ .
- b) B é imagem virtual em relação a  $L_1$ .
- c) B é objeto real em relação a  $L_1$ .

- d) C é imagem virtual em relação a  $L_2$ .
- e) C é objeto real em relação a  $L_2$ .

**Resposta: D**

**4 (EFOA)** – O microscópio é constituído de dois sistemas de lentes que funcionam, basicamente, como se fossem duas lentes apenas. A lente que fica mais próxima do objeto é denominada objetiva, e aquela que amplia a imagem fornecida pela objetiva é denominada ocular.

- a) A objetiva é convergente ou divergente? A ocular é convergente ou divergente?
- b) A imagem final, observada pelo usuário, é real ou virtual?

**RESOLUÇÃO:**  
**a) convergentes**  
**b) virtual**

**5 (MED.JUNDIAÍ-SP)** – Os aparelhos que produzem imagens reais invertidas são

- a) luneta astronômica, lupa e câmara fotográfica.
- b) projetor de slides, câmara fotográfica e olho humano.
- c) câmara fotográfica, olho humano e luneta terrestre.
- d) lupa, olho humano e microscópio composto.
- e) câmara fotográfica, luneta terrestre e microscópio composto.

**Resposta: B**

**6 (UNESP-MODELO ENEM)** – Assinale a alternativa correspondente ao instrumento óptico que, nas condições normais de uso, fornece imagem virtual.

- a) Projetor de slides.
- b) Projetor de cinema.
- c) Cristalino do olho humano.
- d) Câmara fotográfica comum.
- e) Lente de aumento (lupa).

**Resposta: E**

## Módulo

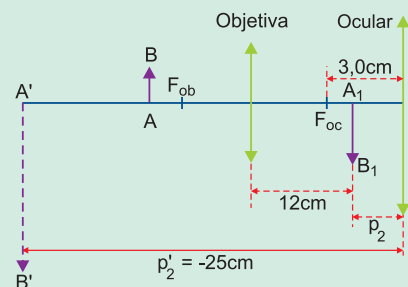
# 32

## Instrumentos de óptica II

### Exercício Resolvido

**1 (MED.-SANTOS)** – A objetiva e a ocular de um microscópio composto têm distâncias focais 0,80cm e 3,0cm, respectivamente. Uma bactéria, estando a 6/7cm de distância da objetiva, tem sua imagem vista pelo microscópio na distância mínima de visão distinta (25cm). Qual é a distância de separação das lentes e o aumento total do sistema? Considerar o olho do observador justaposto à ocular.

**Resolução**



Para a objetiva, temos:

$$p_1 = \frac{6}{7} \text{ cm}; f_{ob} = 0,80 \text{ cm} = \frac{4}{5} \text{ cm}$$

A imagem dada pela objetiva terá abscissa  $p'_1$ , dada por:

$$\frac{1}{p'_1} + \frac{1}{p_1} = \frac{1}{f}$$

$$\frac{1}{p'_1} + \frac{7}{6 \text{ cm}} = \frac{5}{4 \text{ cm}}$$

$$\frac{1}{p'_1} = \frac{5}{4 \text{ cm}} - \frac{7}{6 \text{ cm}} = \frac{30 - 28}{24 \text{ cm}}$$

$$p'_1 = 12 \text{ cm}$$

Para a ocular, temos:

$$p_2 = ? \quad p'_2 = -25 \text{ cm} \quad f_{oc} = 3,0 \text{ cm}$$

Aplicando-se a Equação de Gauss, obtém-se:

$$\frac{1}{p'_2} + \frac{1}{p_2} = \frac{1}{f_{oc}} - \frac{1}{25 \text{ cm}} + \frac{1}{p_2} = \frac{1}{3,0 \text{ cm}}$$

$$\frac{1}{p_2} = \frac{1}{3,0 \text{ cm}} + \frac{1}{25 \text{ cm}} = \frac{25 + 3,0}{75 \text{ cm}}$$

$$p_2 = \frac{75}{28} \text{ cm}$$

A distância D entre as lentes será, então:

$$D = p'_1 + p_2 = 12 \text{ cm} + \frac{75}{28} \text{ cm} \Rightarrow \mathbf{D \cong 15 \text{ cm}}$$

O aumento linear total (A) será dado por:

$$A = \frac{i_2}{o} = \frac{i_2}{i_1} \cdot \frac{i_1}{o} = A_{oc} \cdot A_{ob}$$

$$A_{ob} = \frac{i_1}{o} = \frac{p'_1}{p_1} = 12 \cdot \frac{7}{6}$$

$$\mathbf{A_{ob} = -14}$$

$$A_{oc} = \frac{i_2}{i_1} = - \frac{p'_2}{p_2} = -(-25) \cdot \frac{28}{15}$$

$$\mathbf{A_{oc} = \frac{28}{3}}$$

$$\text{Das quais: } A = -14 \cdot \frac{28}{15} \Rightarrow \mathbf{A \cong -131}$$

**Respostas: 15cm e 131 vezes (valores aproximados)**

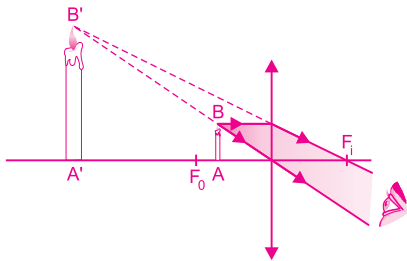
# Exercícios Propostos

**1 (U.FES)** – Uma lupa é construída com uma lente convergente de 3,0 cm de distância focal. Para que um observador veja um objeto ampliado de um fator 3, a distância entre a lupa e o objeto deve ser, em centímetros:

- a) 1,5      b) 2,0      c) 3,0      d) 6,0      e) 25

## RESOLUÇÃO

Esquema de formação de imagem em uma lupa:



Da expressão do aumento linear transversal, vem:

$$A = \frac{-p'}{p}$$

$$3 = \frac{-p'}{p}$$

$$p' = -3p$$

Utilizando a equação dos pontos conjugados, temos:

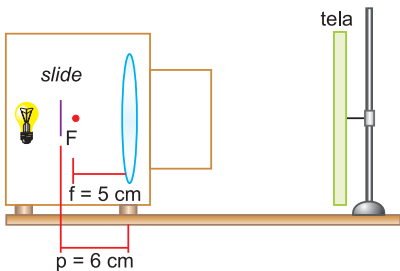
$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'}$$

$$\frac{1}{3,0} = \frac{1}{p} - \frac{1}{3p} \Rightarrow \frac{1}{3,0} = \frac{3-1}{3p} \Rightarrow \frac{1}{3,0} = \frac{2}{3p}$$

$$p = 2,0 \text{ cm}$$

Resposta: B

**2 (UNESP)** – Um projetor rudimentar, confeccionado com uma lente convergente, tem o objetivo de formar uma imagem real e aumentada de um slide. Quando esse slide é colocado bem próximo do foco da lente e fortemente iluminado,



produz-se uma imagem real, que pode ser projetada em uma tela, como ilustrado na figura.

A distância focal é de 5cm e o slide é colocado a 6cm da lente. A imagem projetada é real e direita. Calcule

- a) a posição, em relação à lente, onde se deve colocar a tela, para se ter uma boa imagem.  
b) a ampliação lateral (aumento linear transversal).

## RESOLUÇÃO

a) Do exposto no enunciado, temos:  $f = 5\text{cm}$  e  $p = 6\text{cm}$ .

Utilizando a Equação de Gauss, vem:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \Rightarrow \frac{1}{5} = \frac{1}{6} + \frac{1}{p'}$$

$$\frac{6-5}{30} = \frac{1}{p'} \Rightarrow p' = 30\text{cm}$$

Portanto, para que se obtenha uma imagem nítida, projetada sobre a tela, esta deve posicionar-se a 30cm da lente.

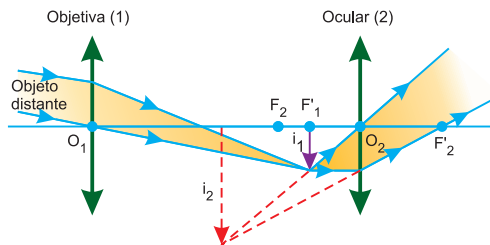
b) O aumento linear transversal é dado por:

$$A = \frac{-p'}{p} \Rightarrow A = \frac{-30\text{cm}}{6\text{cm}} \Rightarrow A = -5$$

Respostas: a) 30cm

b) A ampliação da imagem é 5 e o aumento linear é -5 (imagem invertida).

**3 (PUCCAMP-SP)** – O esquema abaixo mostra a formação da imagem em uma luneta astronômica:



Numa certa luneta, as distâncias focais da objetiva e da ocular são de 60cm e 30cm, respectivamente, e a distância entre elas é de 80cm. Nessa luneta, a imagem final de um astro distante se formará a

- a) 30cm da objetiva.      b) 30cm da ocular.  
c) 40cm da objetiva.      d) 60cm da objetiva.  
e) 60cm da ocular.

## RESOLUÇÃO:

$$p_{oc} + f_{ob} = L \Rightarrow p_{oc} + 60 = 80 \quad p_{oc} = 20\text{cm}$$

Em relação à ocular, tem-se:

$$\frac{1}{f_{oc}} = \frac{1}{p_{oc}} + \frac{1}{p'_{oc}} \Rightarrow \frac{1}{30} = \frac{1}{20} + \frac{1}{p'_{oc}}$$

$$\frac{1}{p'_{oc}} = \frac{1}{30} - \frac{1}{20} \Rightarrow p'_{oc} = -60\text{cm}$$

(imagem virtual)

Resposta: E

**4 (UFOP-MODELO ENEM)** – Para ter as letras direitas e ampliadas, a distância  $d$ , expressa em centímetros, de um jornal a uma lente convergente de distância focal **10cm**, deve ser

a)  $d = 10$       b)  $0 < d < 10$       c)  $d = 20$       d)  $10 < d < 20$

## RESOLUÇÃO:

A lente deve comportar-se como lupa e, para tanto, o jornal deve ser posicionado entre a lente e seu plano focal.

$$\text{Logo: } 0 < d < f \Rightarrow 0 < d < 10\text{cm}$$

Resposta: B



## No Portal Objetivo

Para saber mais sobre o assunto, acesse o **PORTAL OBJETIVO** ([www.portal.objetivo.br](http://www.portal.objetivo.br)) e, em "localizar", digite **FIS2M204**