



CADERNO DE
ESTUDOS

conecte
L I V E

NEWTON VILLAS BÔAS
RICARDO HELOU DOCA
RONALDO FOGO

TÓPICOS DE

Física

2

 Editora
Saraiva

plurall



TÓPICOS DE

Física

NEWTON VILLAS BÔAS

Licenciado em Física pela Universidade de São Paulo (USP).
Professor de Física na rede particular de ensino.

RICARDO HELOU DOCA

Engenheiro eletricista formado pela Faculdade de Engenharia Industrial (FEI-SP).
Professor de Física na rede particular de ensino.

RONALDO FOGO

Licenciado em Física pelo Instituto de Física da Universidade de São Paulo.
Engenheiro metalurgista pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
Coordenador das Turmas Olímpicas de Física do Colégio Objetivo.
Vice-Presidente da IJSO (*International Junior Science Olympiad*).

Direção geral: Guilherme Luz

Direção editorial: Luiz Tonolli e Renata Mascarenhas

Gestão de projeto editorial: Viviane Carpegiani

Gestão e coordenação de área: Julio Cesar Augustus de Paula Santos
e Juliana Grassmann dos Santos

Edição: Mateus Carneiro Ribeiro Alves e Thais Bueno de Moura

Gerência de produção editorial: Ricardo de Gan Braga

Planejamento e controle de produção: Paula Godo,
Roseli Said e Marcos Toledo

Revisão: Hélia de Jesus Gonsaga (ger.), Kátia Scaff Marques (coord.),
Rosângela Muricy (coord.), Ana Paula C. Malfa, Arali Gomes,
Daniela Lima, Hires Heglan, Raquel A. Taveira
e Rita de Cássia C. Queiroz

Arte: Daniela Amaral (ger.), André Gomes Vitale (coord.)
e Lisandro Paim Cardoso (edição de arte)

Diagramação: Setup

Iconografia: Sílvia Klugin (ger.), Roberto Silva (coord.) e
Roberta Freire (pesquisa iconográfica)

Licenciamento de conteúdos de terceiros: Thiago Fontana (coord.),
Flavia Zambon (licenciamento de textos), Erika Ramires,
Luciana Cardoso Sousa, Luciana Pedrosa Bierbauer e
Claudia Rodrigues (analistas adm.)

Tratamento de imagem: Cesar Wolf e Fernanda Crevin

Ilustrações: CJT/Zapt, Leonardo Conceição,
Luciano da S. Teixeira e Paulo Manzi

Design: Gláucia Correa Koller (ger.),
Erika Yamauchi Asato, Filipe Dias (proj. gráfico) e Adilson Casarotti (capa)

Composição de capa: Segue Pro

Foto de capa: Roman Samborskiy/Shutterstock,
Alex Tihonovs/Shutterstock

Todos os direitos reservados por Saraiva Educação S.A.

Avenida das Nações Unidas, 7221, 1º andar, Setor A –

Espaço 2 – Pinheiros – SP – CEP 05425-902

SAC 0800 011 7875

www.editorasaraiva.com.br

2018

Código da obra CL 800855

CAE 628175 (AL) / 628176 (PR)

3ª edição

1ª impressão



Impressão e acabamento

Apresentação

Caro estudante,

Este material foi elaborado especialmente para você, estudante do Ensino Médio que está se preparando para ingressar no Ensino Superior.

Além de todos os recursos do Conecte LIVE, como material digital integrado ao livro didático, banco de questões, acervo de simulados e trilhas de aprendizagem, você tem à sua disposição este Caderno de Estudos que o ajudará a se qualificar para as provas do Enem e de diversos vestibulares do Brasil.

O material foi estruturado para que você consiga utilizá-lo autonomamente, em seus estudos individuais além do horário escolar, ou sob orientação de seu professor, que poderá lhe sugerir atividades complementares às dos livros.

Para cada ano do Ensino Médio, há um Caderno de Estudos com uma revisão completa dos conteúdos correspondentes, atividades de aplicação imediata dos conceitos trabalhados e grande seleção de questões de provas oficiais que abordam esses temas.

No Caderno de Estudos do 3º ano, há ainda um material complementar com o qual, ao terminar de se dedicar aos conteúdos destinados a esse ano escolar, você poderá se planejar para uma retomada final do Ensino Médio! Revisões estruturadas de todos os conteúdos desse ciclo são acompanhadas de simulados, propostos para que você os resolva como se realmente estivesse participando de uma prova oficial de vestibular ou do Enem, de maneira que consiga fazer um bom uso do seu tempo.

Desejamos que seus estudos corram bem e que você tenha sucesso **Rumo ao Ensino Superior!**

Equipe Conecte LIVE!

Conheça este Caderno de Estudos

1 Temperatura e o calor e sua propagação

Reveja o que aprendeu

Você deve ser capaz de:

- Conceber temperatura.
- Relacionar as grandezas termodinâmicas e as medidas de temperatura.
- Reconhecer os processos de propagação de calor.

Introdução

Terminologia A Física que estuda os fenômenos relativos ao aquecimento, resfriamento ou às mudanças de estado físico em corpos que recebem ou cedem um determinado tipo de energia.

A temperatura

Temperatura é a grandeza que caracteriza o estado térmico de um sistema.

As partículas de um gás, como o ar, movimentam-se, possuindo certa velocidade, certa energia cinética. Quando aumentamos a temperatura dessas partículas por aquecimento, essa energia cinética aumenta.

Assim, podemos associar a temperatura do ar à energia cinética de suas partículas, isto é, ao estado de movimento dessas partículas.

A temperatura é, portanto, um valor numérico associado a um determinado estado de agitação ou de movimentação das partículas de um corpo, umas em relação às outras.

Considere que os dois recipientes tenham o mesmo tipo de gás. No recipiente 2 o estado de agitação das partículas que recebem o gás é maior, pois estas se movimentam com maior rapidez. Assim, podemos afirmar que o gás do recipiente 2 encontra-se em uma temperatura mais elevada que a do recipiente 1.

Equilíbrio térmico

Corpos colocados em um mesmo meio, sempre que possível, tendem espontaneamente para um mesmo estado térmico. Os corpos mais "quentes" fornecem parte da energia de agitação de suas partículas para os corpos mais "frios".

Dois ou mais sistemas físicos estão em **equilíbrio térmico** entre si quando suas temperaturas são iguais.

Reveja o que aprendeu

Nesta seção, os principais conceitos de cada tópico de conteúdo do livro são apresentados de maneira resumida, para que você tenha a oportunidade de, sempre que desejar, retomar aprendizagens que vem construindo ao longo do segundo ano do Ensino Médio.

Aplique o que aprendeu

Depois de retomar os conceitos no **Reveja o que aprendeu**, é o momento de aplicar esses conceitos resolvendo atividades.

A seção se inicia com **Exercícios resolvidos**, que trarão uma solução detalhada de uma atividade. Em seguida, haverá uma seleção de atividades para você resolver.

Ao final da seção, registre a quantidade de acertos que você teve em relação ao total de atividades. Se o seu desempenho estiver aquém de suas expectativas, verifique em quais páginas do seu livro-texto os conceitos são trabalhados e procure retomá-los, individualmente ou em grupos de estudo, dedicando mais tempo para se aprofundar neles.

Aplique o que aprendeu

Exercício resolvido

1.508F) A um marceneiro foi solicitada que fosse uma roda de madeira com 100,0 cm de diâmetro para que fosse adaptada em um anel de ferro com 5,0 mm menor que o diâmetro da roda. Para essa adaptação, foi-se necessitada aquecer em um forno o anel de ferro, cujo coeficiente de dilatação linear vale $12 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$. Assim, considerando que a temperatura no ambiente do marceneiro fosse de $30,0 \text{ } ^\circ\text{C}$, de quanto deveria ser, aproximadamente, a temperatura final do anel, para que a adaptação fosse bem sucedida?

Resolução

$\Delta L = L_0 \cdot \alpha \cdot \Delta T$
 $5,0 = 100 \cdot 12 \cdot 10^{-6} \cdot (T_f - 30)$
 $419 = (T_f - 30) \cdot 1,2 = 449 \text{ } ^\circ\text{C}$
Resposta: $449 \text{ } ^\circ\text{C}$

Questões

1.509) Kevin, um engenheiro americano, foi contratado para projetar sobre um rio uma ponte metálica com 2,0 km de comprimento. Nessa região, a amplitude anual de temperatura vai do aproximadamente $-40 \text{ } ^\circ\text{F}$ até $110 \text{ } ^\circ\text{F}$. O coeficiente de dilatação linear do material da ponte é $12 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$. Considerando os efeitos de contração e expansão térmica do metal da ponte, qual a mínima variação esperada em sua extensão?

1.510) [Brasil]

Fenda no Ponte Rio-Niterói é uma junta de dilatação, diz CCR

De acordo com a CCR, no trecho sobre a Baía de Guanabara, as fendas existem a cada 400 metros, com cerca de 15 cm de abertura.

Admita que o material dos blocos que constituem a Ponte Rio-Niterói seja o concreto, cujo coeficiente de dilatação linear é igual a $1 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$. Determine a variação necessária de temperatura para que as duas bordas de uma das fendas citadas na reportagem se enchem.

Rumo ao Ensino Superior

1. Um jovem estudante estava em uma aula de Química em um laboratório quando observou que a diferença entre as temperaturas de ebulição do álcool etílico e do éter etílico é de $78,3 \text{ } ^\circ\text{C}$, quando medido sob pressão de 1,0 atm. Procurando em um livro que tinha à disposição, encontrou a temperatura de ebulição do éter etílico, $35,0 \text{ } ^\circ\text{C}$. Com esses dados, encontre a temperatura de ebulição do álcool etílico. O valor encontrado deve ser maior do que $35,0 \text{ } ^\circ\text{C}$.

2. (UFFRJ)

Durante uma temporada de férias na casa de praia, em certa noite, o filho caçula começa a apresentar um quadro febril preocupante. A mãe, para saber, com exatidão, a temperatura dele, usa um velho termômetro de mercúrio, que não mais apresenta com nitidez os números referentes à escala de temperatura em graus Celsius. Para resolver esse problema e aferir com precisão a temperatura do filho, o mãe decide graduar novamente a escala do termômetro usando como pontos fixos as temperaturas de gelo e do vapor da água. Os valores que ela obtém são: 5 cm para o gelo e 25 cm para o vapor. Com essas definições em mãos, a mãe aplica o termômetro no filho e observa que a coluna de mercúrio para de crescer quando atinge a marca de 13 cm.

Com base nesse dado, a mãe conclui que a temperatura do filho é de:

a) $40,0 \text{ } ^\circ\text{C}$ c) $39,0 \text{ } ^\circ\text{C}$
 b) $39,5 \text{ } ^\circ\text{C}$ d) $38,5 \text{ } ^\circ\text{C}$

3. (UPM - SP)

Uma escala termométrica A adotada para a temperatura da água em ebulição à pressão normal, de $70 \text{ } ^\circ\text{A}$, e para a temperatura de fusão do gelo à pressão normal, de $20 \text{ } ^\circ\text{A}$. Outra escala termométrica B adotada para a temperatura da água em ebulição à pressão normal, de $90 \text{ } ^\circ\text{B}$, e para a temperatura de fusão do gelo à pressão normal, de $10 \text{ } ^\circ\text{B}$. A expressão que relaciona a temperatura das escalas A (θ_A) e B (θ_B) é:

a) $\theta_B = 2,5 \cdot \theta_A - 42$ e) $\theta_B = 1,5 \cdot \theta_A + 22$
 b) $\theta_B = 2,5 \cdot \theta_A - 22$ d) $\theta_B = 1,5 \cdot \theta_A + 42$
 c) $\theta_B = 1,5 \cdot \theta_A - 22$

Rumo ao Ensino Superior

Esta seção apresenta uma seleção de atividades que envolvem conteúdos estudados ao longo de todo o segundo ano do Ensino Médio. Você encontrará questões elaboradas por nós, do Enem e de diferentes vestibulares do Brasil.

Sumário

Já revi este conteúdo

Já apliquei este conteúdo

1 – Temperatura e o calor e sua propagação 6	7 – Acústica 70
<input type="checkbox"/> Reveja o que aprendeu 6	<input type="checkbox"/> Reveja o que aprendeu 70
<input type="checkbox"/> Aplique o que aprendeu 11	<input type="checkbox"/> Aplique o que aprendeu 74
2 – Calor sensível e calor latente 16	8 – Fundamentos da Óptica Geométrica e reflexão da luz 78
<input type="checkbox"/> Reveja o que aprendeu 16	<input type="checkbox"/> Reveja o que aprendeu 78
<input type="checkbox"/> Aplique o que aprendeu 21	<input type="checkbox"/> Aplique o que aprendeu 85
3 – Gases perfeitos e termodinâmica 28	9 – Refração da luz 94
<input type="checkbox"/> Reveja o que aprendeu 28	<input type="checkbox"/> Reveja o que aprendeu 94
<input type="checkbox"/> Aplique o que aprendeu 37	<input type="checkbox"/> Aplique o que aprendeu 97
4 – Dilatação térmica dos sólidos e dos líquidos 46	10 – Lentes esféricas 102
<input type="checkbox"/> Reveja o que aprendeu 46	<input type="checkbox"/> Reveja o que aprendeu 102
<input type="checkbox"/> Aplique o que aprendeu 48	<input type="checkbox"/> Aplique o que aprendeu 106
5 – Movimento harmônico simples (MHS) 52	11 – Instrumentos ópticos e Óptica da visão ... 110
<input type="checkbox"/> Reveja o que aprendeu 52	<input type="checkbox"/> Reveja o que aprendeu 110
<input type="checkbox"/> Aplique o que aprendeu 55	<input type="checkbox"/> Aplique o que aprendeu 112
6 – Ondas 58	Rumo ao Ensino Superior 118
<input type="checkbox"/> Reveja o que aprendeu 58	Respostas 198
<input type="checkbox"/> Aplique o que aprendeu 63	Significado das siglas dos vestibulares 200

Reveja o que aprendeu

Você deve ser capaz de:

- ▶ Conceituar temperatura.
- ▶ Relacionar as grandezas termométricas e as medidas de temperatura.
- ▶ Reconhecer os processos de propagação de calor.

Introdução

Termologia é a parte da Física que estuda os fenômenos relativos ao aquecimento, resfriamento ou às mudanças de estado físico em corpos que recebem ou cedem um determinado tipo de energia.

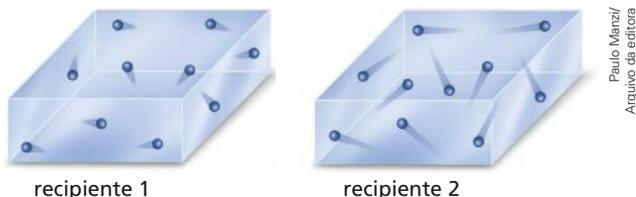
A temperatura

Temperatura é a grandeza que caracteriza o estado térmico de um sistema.

As partículas de um gás, como o ar, movimentam-se, possuindo certa velocidade, certa energia cinética. Quando aumentamos a temperatura dessas partículas por aquecimento, essa energia cinética aumenta.

Assim, podemos associar a temperatura do ar à energia cinética de suas partículas, isto é, ao estado de movimento dessas partículas.

A temperatura é, portanto, um valor numérico associado a um determinado estado de agitação ou de movimentação das partículas de um corpo, umas em relação às outras.



// Considerando que os dois recipientes contêm o mesmo tipo de gás, no recipiente 2 o estado de agitação das partículas que compõem o gás é maior, pois estas se movimentam com maior rapidez. Assim, podemos concluir que o gás do recipiente 2 encontra-se em uma temperatura mais elevada que o gás do recipiente 1.

Equilíbrio térmico

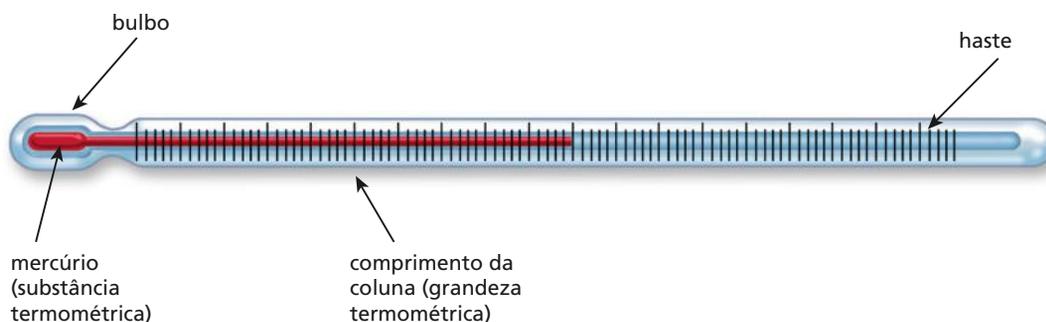
Corpos colocados em um mesmo meio, sempre que possível, tendem espontaneamente para um mesmo estado térmico. Os corpos mais “quentes” fornecem parte da energia de agitação de suas partículas para os corpos mais “frios”.

Dois ou mais sistemas físicos estão em **equilíbrio térmico** entre si quando suas temperaturas são iguais.

Medição de temperatura

Como não há condições de medir diretamente a energia de agitação das moléculas de um corpo, usa-se o **termômetro**, mecanismo que sofre alterações mensuráveis em suas propriedades físicas pelo equilíbrio térmico com o corpo que está em contato.

Observe os detalhes de um termômetro de mercúrio.



Paulo Manzini
Arquivo da editora

Substância termométrica é aquela em que pelo menos uma de suas propriedades físicas (comprimento, volume, pressão, dentre outras) varia de forma mensurável com a temperatura.

Grandeza termométrica é a propriedade física da substância termométrica que varia de forma mensurável com a temperatura e é usada para medi-la.

Equação termométrica

A relação matemática de correspondência entre a grandeza termométrica (G) e a temperatura (θ) é uma função do 1º grau que recebe o nome de **equação termométrica**:

$$G = a\theta + b$$

Escalas termométricas

Escala termométrica é um conjunto de valores numéricos em que cada valor está associado a uma determinada temperatura. Como uma escala termométrica é constituída por um conjunto de valores arbitrários, um mesmo estado térmico pode ser representado em escalas termométricas diversas, por valores numéricos diferentes.

Os valores numéricos de uma escala termométrica são obtidos a partir de dois valores atribuídos previamente a dois estados térmicos de referência, bem definidos, denominados **pontos fixos**.

Pontos fixos fundamentais

1º ponto fixo: ponto do gelo – temperatura na qual o gelo e a água permanecem em equilíbrio térmico quando sob pressão normal.

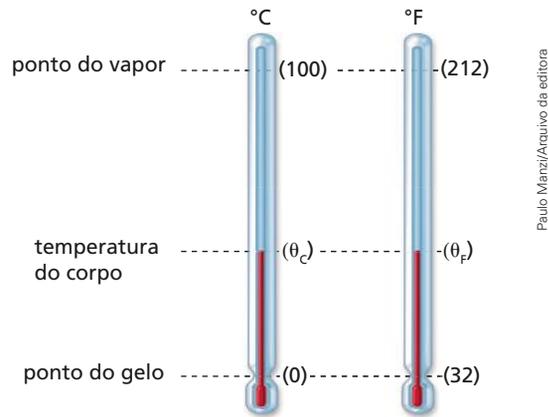
2º ponto fixo: ponto do vapor – temperatura na qual a água entra em ebulição sob pressão normal.

Escalas Celsius e Fahrenheit

Na **escala Celsius**, temos 100 divisões iguais entre os pontos fixos, cada divisão correspondendo à unidade da escala, que recebe o nome de **grau Celsius**, simbolizado por **°C**.

Na **escala Fahrenheit**, temos 180 divisões iguais entre os pontos fixos, sendo a unidade da escala denominada **grau Fahrenheit**, simbolizado por **°F**.

Conversão entre as escalas Celsius e Fahrenheit



A **equação de conversão** entre temperaturas nas escalas Celsius (θ_c) e Fahrenheit (θ_f) é:

$$\frac{\theta_c}{5} = \frac{\theta_f - 32}{9}$$

Para converter uma **variação de temperatura** em graus Celsius ($\Delta\theta_c$) para graus Fahrenheit ($\Delta\theta_f$) usa-se:

$$\frac{\Delta\theta_c}{100} = \frac{\Delta\theta_f}{180}$$

Conversão entre as escalas Réaumur e Celsius

Na **escala Réaumur**, temos 80 divisões iguais entre os pontos fixos, sendo a unidade da escala denominada **grau Réaumur**, simbolizado por **°R**.

A conversão entre a escala Réaumur (θ_r) e a escala Celsius é feita pela relação:

$$\frac{\theta_c}{5} = \frac{\theta_r}{4}$$

O zero absoluto

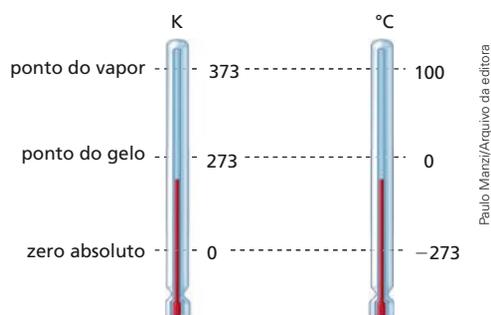
Zero absoluto é o limite inferior de temperatura de um sistema. É a temperatura correspondente ao menor estado de agitação das partículas, isto é, um estado de agitação praticamente nulo.

A escala absoluta

A escala Kelvin, também denominada **escala absoluta**, tem sua origem no zero absoluto e utiliza o grau Celsius como unidade de variação. O símbolo da unidade da escala Kelvin é **K**.

A equação de conversão entre as escalas Celsius e Kelvin é dada por:

$$T(K) = \theta(^{\circ}\text{C}) + 273$$



Energia térmica

A **energia térmica** de um corpo é o somatório das energias de agitação das suas partículas e depende da temperatura do corpo e do número de partículas nele existentes.

Calor

Calor é energia térmica em trânsito de um corpo para outro ou de uma parte para outra de um mesmo corpo, trânsito este provocado por uma diferença de temperaturas.

Unidade usual de calor

A unidade usual de medida de calor é, de acordo com o Sistema Internacional de Unidades, o joule (J), mas também podemos usar a caloria (cal).

Uma **caloria (cal)** é a quantidade de calor que 1 grama de água pura deve receber, sob pressão normal, para que sua temperatura seja elevada de 14,5 °C a 15,5 °C.

A equivalência entre o joule e a caloria é dada por:

$$1 \text{ cal} = 4,186 \text{ J}$$

Processos de propagação de calor

Há três processos de propagação de calor: condução, convecção e radiação.

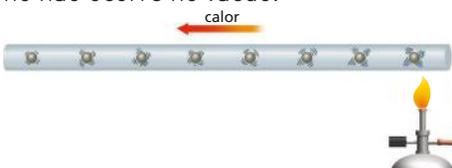
A condução

Condução é o processo de propagação de calor no qual a energia térmica passa de partícula para partícula de um meio.

Na condução, as partículas permanecem vibrando em torno de suas posições de equilíbrio. As partículas não se deslocam, ao contrário do que acontece com a energia.

Como a ocorrência da condução requer a existência de um meio material, esse fenômeno não ocorre no vácuo.

Paulo Manzi/
Arquivo da editora



// Esquema, sem rigor na escala, que representa a condução do calor através de uma barra. Note que a energia térmica é passada sequencialmente de partícula para partícula e que as partículas mais próximas da fonte de calor vibram mais.

A intensidade do fluxo térmico ϕ é dada por:

$$\phi = \frac{Q}{\Delta t}$$

sendo Q o calor que atravessa uma seção do corpo em um intervalo de tempo Δt . A unidade usual é $\frac{\text{cal}}{\text{s}}$.

A lei de Fourier relaciona o fluxo térmico à área (A) da seção transversal da barra, ao seu comprimento (ℓ), à diferença de temperaturas ($\Delta\theta$) dos meios **a** e **b** e do material de que é feita a barra (k). Matematicamente, a **lei de Fourier** é enunciada por:

$$\phi = k \frac{A|\Delta\theta|}{\ell}$$

A grandeza k é uma constante característica do material da barra, sendo denominada **coeficiente de condutibilidade térmica**.

A convecção

Convecção é o processo de propagação de calor no qual a energia térmica muda de local, acompanhando o deslocamento do próprio material aquecido.

Nesse processo, a energia térmica muda de local acompanhando as partículas do fluido, ao contrário da condução, em que apenas a energia térmica se desloca e as partículas permanecem em suas posições de equilíbrio.

É importante observar que a convecção só ocorre nos fluidos (gases, vapores e líquidos), não acontecendo nos sólidos e no vácuo.



Leonardo Conceição/Arquivo da editora

A radiação

Radiação é o processo de propagação de energia na forma de ondas eletromagnéticas. Ao serem absorvidas, essas ondas se transformam em energia térmica.

2

Calor sensível e calor latente

Reveja o que aprendeu

Você deve ser capaz de:

- ▶ Relacionar as variáveis que determinam a troca de calor.
- ▶ Identificar características dos estados da matéria.

Capacidade térmica (C) e calor específico (c)

A **capacidade térmica** (C) de um corpo indica a quantidade de calor que ele precisa receber ou ceder para que sua temperatura varie uma unidade. Matematicamente, tem-se:

$$C = \frac{Q}{\Delta\theta}$$

sendo Q a quantidade de calor para se ter uma variação de temperatura $\Delta\theta$ e a unidade usual $\frac{\text{cal}}{^\circ\text{C}}$.

O **calor específico** (c) indica a quantidade de calor que cada unidade de massa do corpo precisa receber ou ceder para que sua temperatura varie uma unidade. É dado por

$$c = \frac{C}{m} = \frac{Q}{m\Delta\theta}$$

sendo a unidade usual $\frac{\text{cal}}{\text{g } ^\circ\text{C}}$.

O calor sensível e o seu cálculo

Calor sensível é o calor que, recebido ou cedido por um corpo, provoca nele uma variação de temperatura.

O calor sensível é dado por

$$Q = mc\Delta\theta$$

também conhecida como **Equação Fundamental da Calorimetria**.

Sistema físico termicamente isolado

Um sistema físico é **termicamente isolado** quando não existe troca de calor entre seus componentes e o meio externo.

O somatório das quantidades de calor cedidas por alguns corpos de um sistema termicamente isolado tem módulo igual ao do somatório das quantidades de calor recebidas pelos outros corpos desse mesmo sistema. Essa afirmação pode ser expressa também como:

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

Equivalente em água

O **equivalente em água** de um corpo é a massa E de água que possui capacidade térmica igual à do corpo considerado, podendo substituí-lo no equacionamento das quantidades de calor trocadas.

Simbolizando por E a massa da água expressa em gramas e lembrando que o calor específico da água vale $1 \text{ cal/g } ^\circ\text{C}$, temos:

$$(mc)_{\text{corpo}} = E \cdot 1$$

Calorímetro

Chamamos de **calorímetro** o recipiente que permite obter, de forma direta ou indireta, o valor das quantidades de calor trocadas entre dois ou mais corpos em seu interior.

Geralmente, não são dados o calor específico do material de que é feito o calorímetro nem sua massa, mas é fornecido seu equivalente em água. Do exposto, podemos chegar à relação:

$$C_{\text{calorímetro}} = E_{\text{água}}$$

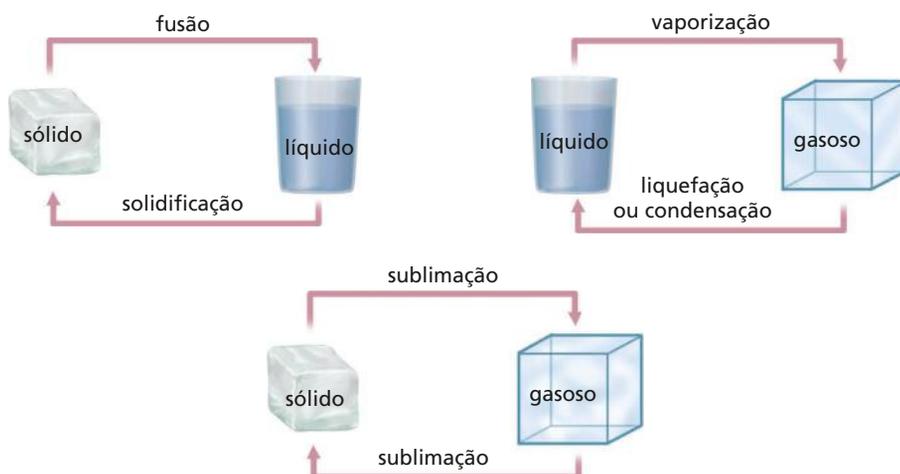
As mudanças de estado físico

No **estado sólido**, as partículas de uma substância não têm grande liberdade de movimentação e não vão além de vibrações em torno de posições definidas. Assim, os sólidos possuem volume e forma bem definidos.

No **estado líquido**, há maior liberdade de agitação das partículas de uma substância do que no estado sólido, mas elas ainda apresentam uma coesão considerável. Assim, os líquidos possuem volume bem definido, porém forma variável, ou seja, a forma é a do recipiente que os contém.

No **estado gasoso**, as partículas de uma substância estão afastadas umas das outras o suficiente para que as forças de coesão entre elas sejam muito fracas. Por isso, elas se movimentam com liberdade muito maior do que no estado líquido. Substâncias no estado gasoso (vapores e gases) não possuem volume nem forma definidos.

As mudanças de estado físico podem ocorrer quando uma substância recebe ou cede energia térmica. Observe os diagramas a seguir.



Paulo Manz/Arquivo da editora

Entre essas transformações, as que ocorrem por recebimento de calor são denominadas **transformações endotérmicas**. São elas: a fusão, a vaporização e a sublimação (de sólido para gasoso). A solidificação, a liquefação e a sublimação (de gasoso para sólido) são **transformações exotérmicas**, já que ocorrem por perda de calor.

O calor latente

A denominação **calor latente** é dada à energia térmica que se transforma em energia potencial de agregação. Essa transformação altera o arranjo físico das partículas do sistema e provoca uma mudança de estado – por exemplo, de sólido para líquido (fusão) –, sem, no entanto, alterar a temperatura.

Sendo m a massa de um corpo que necessita de uma quantidade Q de calor para sofrer uma total mudança de estado, vale a expressão:

$$Q = mL$$

sendo L a grandeza denominada **calor latente**, característica do material de que é feito o corpo, da mudança de estado pela qual ele passa e da temperatura a que ocorre essa mudança.

A fusão e a solidificação

Ao ser atingida uma temperatura em que a estrutura molecular da substância sólida não consegue se manter no mesmo estado, passa a ocorrer o dismantelamento da estrutura molecular sólida. Para tanto, é usado o calor recebido e a substância torna-se líquida. Esse processo é denominado **fusão**. O processo inverso da fusão é a **solidificação**.

A liquefação e a vaporização

Liquefação ou **condensação** é a passagem de uma substância do estado gasoso para o estado líquido. Esse processo é **exotérmico**, isto é, ocorre com liberação de calor.

Vaporização é a passagem de uma substância do estado líquido para o estado gasoso. Esse processo é **endotérmico**, isto é, ocorre com recebimento de calor.

A fusão dos sólidos de estrutura cristalina e a ebulição dos líquidos em geral obedecem a três leis básicas:

1ª Lei

Para uma determinada pressão, cada substância pura possui uma temperatura de fusão e outra de ebulição.

2ª Lei

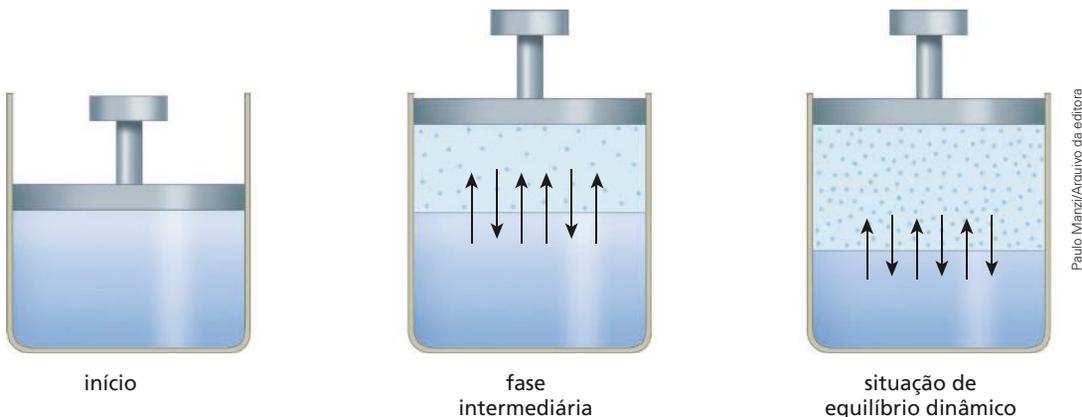
Para uma mesma substância pura, as temperaturas de fusão e de ebulição variam com a pressão.

3ª Lei

Se durante a fusão ou a ebulição de uma substância pura a pressão permanecer constante, sua temperatura também permanecerá constante.

Pressão de vapor

Se, no interior de um recipiente, a pressão interna é exercida por um ambiente gasoso com um líquido volátil, diz-se que há pressão de vapor. Quando se levanta o êmbolo do recipiente e a pressão se estabiliza (chamada **pressão máxima de vapor**), tem-se equilíbrio dinâmico e o vapor é chamado de **vapor saturante**. Quando se levanta o êmbolo até não haver mais líquido no recipiente, o vapor é denominado **vapor não saturante**.



A sublimação

A **sublimação** é a passagem do estado físico sólido para o gasoso ou vice-versa, sem que a substância passe pela fase líquida.

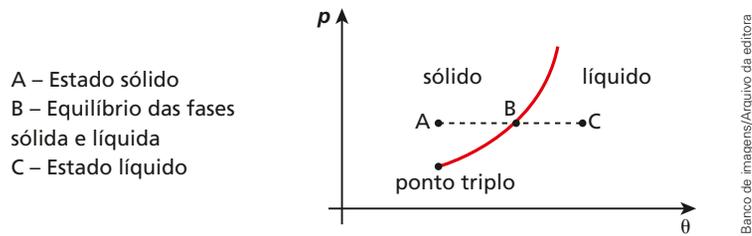
Ponto crítico e ponto triplo

A situação-limite entre vapor e gás é definida por uma temperatura denominada **temperatura crítica**, que, em conjunto com um valor de pressão (pressão crítica), determina o **ponto crítico**.

O **ponto triplo** de uma substância é caracterizado por um valor de pressão e outro de temperatura sob os quais essa substância pode coexistir em equilíbrio nos estados físicos sólido, líquido e gasoso (vapor) simultaneamente.

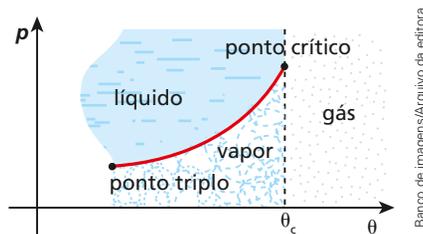
Curva de fusão, vaporização e sublimação

Curva de fusão de um sólido cristalino é a representação gráfica da pressão ambiente (p) em função da temperatura de fusão (θ) do sólido. Para a grande maioria das substâncias, o volume aumenta com a fusão. Para algumas substâncias, o volume diminui com a fusão.

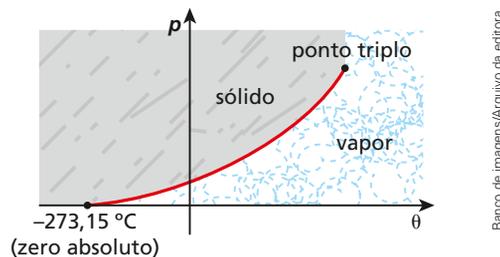


Dá-se o nome de **regelo** ao fenômeno que consiste na ressolidificação da água por diminuição da pressão.

Curva de vaporização é a representação gráfica da pressão ambiente (p) em função da temperatura de ebulição (θ) do líquido.

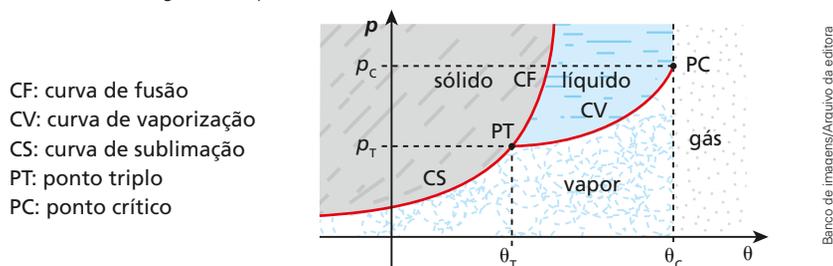


Curva de sublimação é a representação gráfica da pressão ambiente (p) em função da temperatura de sublimação (θ) do sólido.



Diagramas de estado

Denomina-se **diagrama de estado** de uma substância o gráfico que representa suas curvas de fusão, vaporização e sublimação. Para a maioria das substâncias, o diagrama de estado é do seguinte tipo:



Na **sobrefusão** (ou **superfusão**), uma substância encontra-se no estado líquido abaixo da sua temperatura de solidificação.

Aplice o que aprendeu

Exercícios resolvidos

1. Analise as proposições e indique a verdadeira.
 - a) Calor e energia térmica são a mesma coisa, podendo sempre ser usados tanto um termo como o outro, indiferentemente.
 - b) Dois corpos estão em equilíbrio térmico quando possuem quantidades iguais de energia térmica.
 - c) O calor sempre flui da região de menor temperatura para a de maior temperatura.
 - d) Calor é a energia térmica em trânsito, fluindo espontaneamente da região de maior temperatura para a de menor temperatura.
 - e) Um corpo somente possui temperatura maior que a de um outro quando sua quantidade de energia térmica também é maior que a do outro.

Resolução:

- a) Falsa. Calor é a denominação dada à energia térmica quando, e apenas enquanto, ela estiver em trânsito entre dois locais de temperaturas diferentes.
- b) Falsa. Dois corpos estão em equilíbrio térmico quando tiverem temperaturas iguais, isto é, quando suas partículas tiverem, em média, energias de agitação iguais.
- c) Falsa. O calor flui espontaneamente da região de maior temperatura para a de menor temperatura.
- d) Verdadeira.
- e) Falsa. Um corpo possui temperatura maior que a de outro quando suas partículas estão em um estágio de agitação maior que a do outro, isto é, quando suas partículas possuem energia de agitação maior que a do outro. Esse corpo pode ter, no total, menor energia térmica.

Resposta: D

2. (Enem) Nos dias frios, é comum ouvir expressões como:

"Esta roupa é quentinha" ou então "Feche a janela para o frio não entrar". As expressões do senso comum utilizadas estão em desacordo com o conceito de calor da termodinâmica. A roupa não é "quentinha", muito menos o frio "entra" pela janela.

A utilização das expressões "roupa é quentinha" e "para o frio não entrar" é inadequada, pois o(a):

- a) roupa não absorve a temperatura do corpo da pessoa, e o frio não entra pela janela, o calor é que sai por ela.
- b) roupa não fornece calor por ser um isolante térmico, e o frio não entra pela janela, pois é a temperatura da sala que sai por ela.
- c) roupa não é uma fonte de temperatura, e o frio não pode entrar pela janela, pois o calor está contido na sala, logo o calor é que sai por ela.
- d) calor não está contido num corpo, sendo uma forma de energia em trânsito de um corpo de maior temperatura para outro de menor temperatura.
- e) calor está contido no corpo da pessoa, e não na roupa, sendo uma forma de temperatura em trânsito de um corpo mais quente para um corpo mais frio.

Resolução:

Um corpo possui energia térmica, não calor. Calor é a denominação que damos à energia térmica quando a mesma está em trânsito, indo de um corpo de maior temperatura para outro de menor temperatura.

Resposta: D

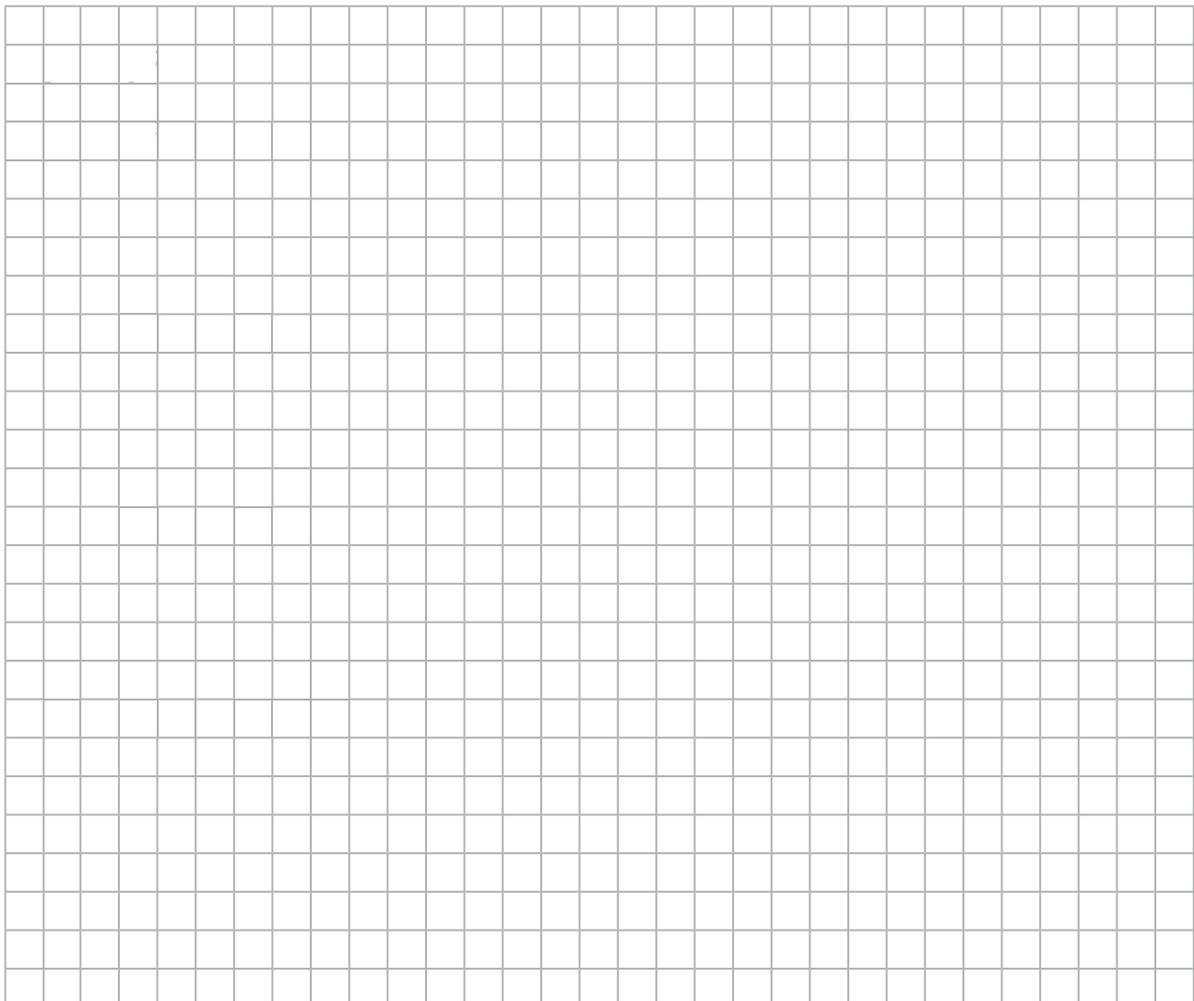
6. (Cesgranrio-RJ)

As escalas de temperatura mais utilizadas nos dias de hoje são as escalas Celsius ($^{\circ}\text{C}$) e Fahrenheit ($^{\circ}\text{F}$). Essas escalas possuem amplitudes diferentes, ou seja, uma variação de 9° na escala Fahrenheit corresponde a uma variação de 5° na escala de Celsius. Sabe-se, também, que o ponto de fusão do gelo é 32°F . A tabela abaixo apresenta os pontos de fusão e de ebulição de algumas substâncias, em graus Celsius.

Substância	Ponto de fusão ($^{\circ}\text{C}$)	Ponto de ebulição ($^{\circ}\text{C}$)
Parafina	60	300
Álcool	-114	78
Mercúrio	-39	357

Em um laboratório, quantidades determinadas dessas três substâncias estão armazenadas dentro de um recipiente, a uma temperatura de 70°F . Pode-se concluir que a parafina, o álcool e o mercúrio dentro desse recipiente encontram-se, respectivamente, nos estados:

- a) sólido, líquido e líquido.
- b) líquido, sólido e sólido.
- c) sólido, sólido e líquido.
- d) líquido, líquido e líquido.
- e) sólido, sólido e sólido.

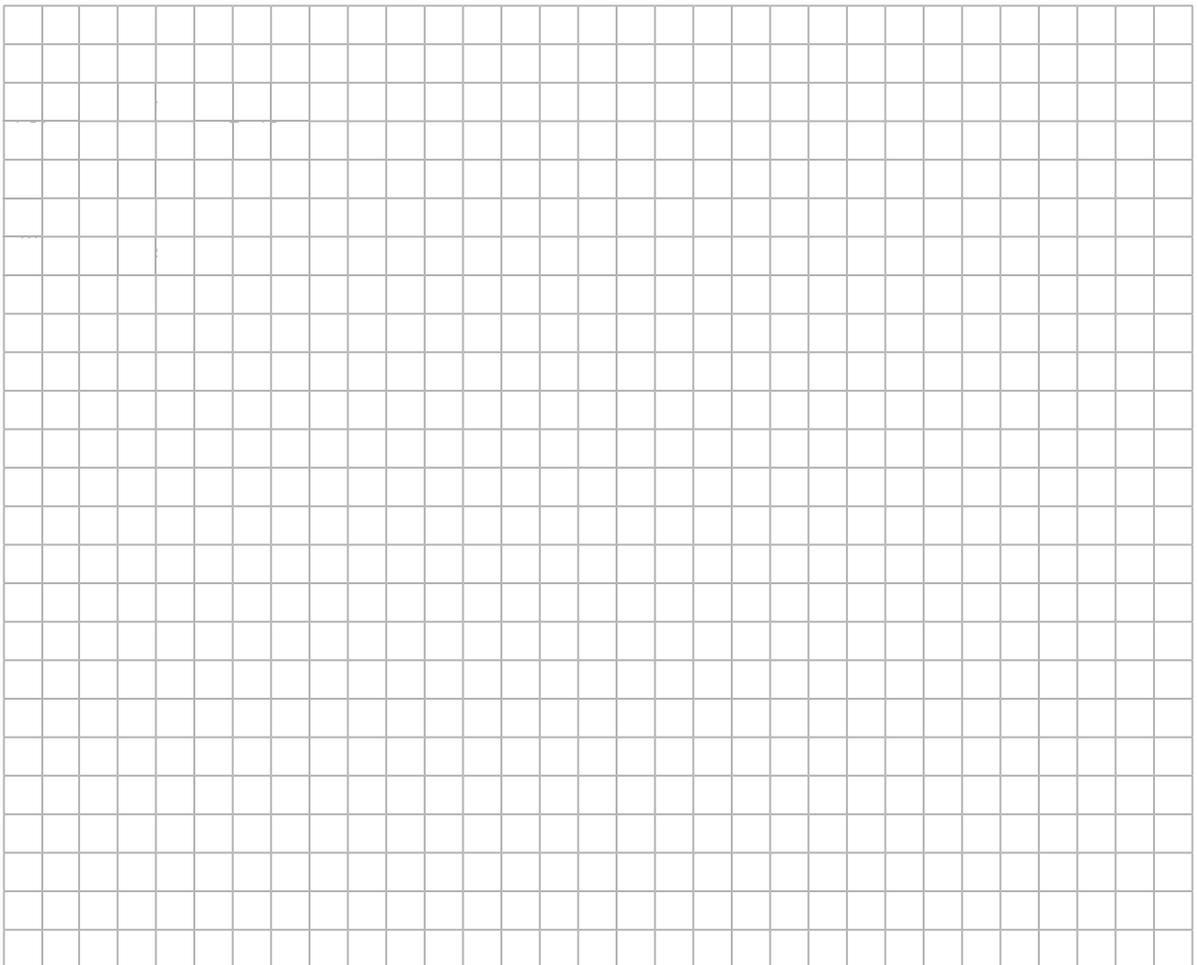


11. (Enem)

Durante a primeira fase do projeto de uma usina de geração de energia elétrica, os engenheiros da equipe de avaliação de impactos ambientais procuram saber se esse projeto está de acordo com as normas ambientais. A nova planta estará localizada à beira de um rio, cuja a temperatura média da água é de $25\text{ }^{\circ}\text{C}$, e usará a sua água somente para refrigeração. O projeto pretende que a usina opere com $1,0\text{ MW}$ de potência elétrica e, em razão de restrições técnicas, o dobro dessa potência será dissipada por seu sistema de arrefecimento, na forma de calor. Para atender a resolução número 430, de 13 de maio de 2011, do Conselho Nacional do Meio Ambiente, com uma ampla margem de segurança, os engenheiros determinaram que a água só poderá ser devolvida ao rio com um aumento de temperatura de, no máximo, $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ em relação à temperatura da água do rio captada pelo sistema de arrefecimento. Considere o calor específico da água igual a $4\text{ kJ}/(\text{kg }^{\circ}\text{C})$.

Para atender essa determinação, o valor mínimo do fluxo de água, em kg/s , para a refrigeração da usina deve ser mais próximo de

- a) 42
- b) 84
- c) 167
- d) 250
- e) 500



3

Gases perfeitos e termodinâmica

Reveja o que aprendeu

Você deve ser capaz de:

- ▶ Conceituar e relacionar as variáveis de estado de um gás perfeito.
- ▶ Analisar as transformações entre energias mecânica e térmica.

Modelo macroscópico de gás perfeito

Para determinada massa de gás perfeito, as variáveis de estado são as grandezas físicas temperatura (T), volume (V) e pressão (p).

A **temperatura** é a grandeza física que está relacionada à energia cinética de translação das partículas do gás.

Sendo os gases extremamente expansíveis, suas moléculas ocupam todo o espaço disponível no recipiente que os contém. Assim, o **volume** do gás corresponde à capacidade do recipiente.

A **pressão** é uma grandeza escalar, definida como a razão entre a intensidade da força resultante, aplicada perpendicularmente a uma superfície e à área dessa superfície.

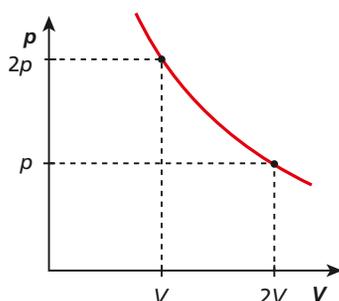
Lei de Boyle

Quando determinada massa de um gás perfeito sofre uma **transformação isotérmica**, sua pressão varia de maneira inversamente proporcional ao volume por ele ocupado. Matematicamente:

$$pV = K_1$$

em que p é a pressão, V o volume e K_1 uma constante que depende da massa, da temperatura e da natureza do gás.

Num diagrama pressão (p) \times volume (V), a representação gráfica da Lei de Boyle é um **ramo de hipérbole**.



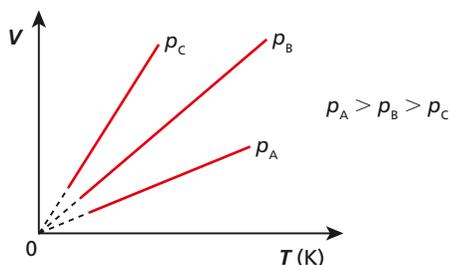
Banco de imagens/Arquivo da editora

Lei de Charles e Gay-Lussac

Quando determinada massa de gás perfeito passa por uma **transformação isobárica**, seu volume deve variar, mantendo-se diretamente proporcional à temperatura absoluta desse gás. Pode ser expressa como:

$$V = K_2 T$$

em que V é o volume ocupado pelo gás, T sua temperatura absoluta e K_2 uma constante que depende da massa, da pressão e da natureza do gás, sendo inversamente proporcional ao valor da pressão, que permanece constante.



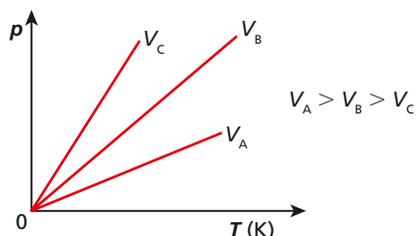
Banco de imagens/Arquivo da editora

Lei de Charles

Quando determinada massa de gás perfeito sofre **uma transformação isométrica**, sua pressão mantém-se diretamente proporcional à sua temperatura absoluta. Ou seja:

$$p = K_3 T$$

em que p é a pressão do gás, T a sua temperatura absoluta e K_3 uma constante que depende da massa, do volume e da natureza do gás, sendo inversamente proporcional ao valor do volume, que permanece constante.



Banco de imagens/Arquivo da editora

A Equação de Clapeyron

A equação de Clapeyron é escrita como:

$$p = K \frac{mT}{V}$$

ou ainda como:

$$pV = nRT$$

A constante universal dos gases perfeitos (R) e seus valores

A constante universal dos gases perfeitos (R), dependendo das unidades das demais grandezas, vale:

$$R = 0,082 \frac{\text{atm L}}{\text{mol K}} = 8,31 \frac{\text{joules}}{\text{mol K}} \cong 2 \frac{\text{cal}}{\text{mol K}}$$

nas denominadas condições normais de temperatura e pressão.

Lei Geral dos Gases

De acordo com a Lei Geral dos Gases, tem-se:

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$$

Mistura física de gases perfeitos

A **mistura física de gases perfeitos** é a reunião de dois ou mais gases ideais, de forma a não ocorrerem reações químicas entre suas partículas, isto é, as interações existentes são estritamente físicas. Nessa situação, vale a relação:

$$\frac{p_m V_m}{T_m} = \frac{p_1 V_1}{T_1} + \frac{p_2 V_2}{T_2} + \dots + \frac{p_e V_e}{T_e}$$

O modelo microscópico de gás perfeito

As hipóteses que constituem a teoria cinética dos gases são:

- Uma porção de gás perfeito é constituída de um grande número de moléculas em movimento caótico (todas as direções são igualmente prováveis).
- As moléculas são consideradas pontos materiais, isto é, suas dimensões são desprezíveis quando comparadas com as distâncias que percorrem entre colisões sucessivas.
- As colisões entre duas moléculas ou entre uma molécula e uma parede do recipiente são supostas perfeitamente elásticas (não há perda de energia cinética).
- Cada colisão tem duração desprezível quando comparada com o tempo decorrido entre colisões sucessivas.
- Entre colisões sucessivas, o movimento das moléculas é retilíneo e uniforme. Isso equivale a desprezar as forças gravitacionais e intermoleculares.
- As forças intermoleculares só se manifestam durante as colisões.
- O estudo das colisões das moléculas do gás pode ser feito com base na mecânica newtoniana.

Velocidade média quadrática

A velocidade média quadrática das partículas em um gás é

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{v_1^2 + v_2^2 + \dots + v_n^2}{N}}$$

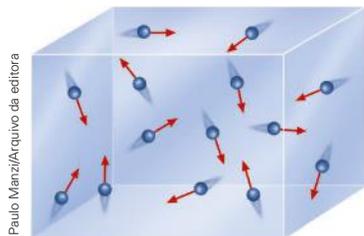
sendo N o número de partículas do gás.

Equação Fundamental da Teoria Cinética

A Equação Fundamental da Teoria Cinética,

$$p = \frac{1}{3} \mu (\bar{v})^2$$

pode ser interpretada da seguinte maneira: a pressão (p) exercida por um gás perfeito nas paredes internas de um recipiente é igual a um terço do produto de sua massa específica pelo quadrado da velocidade média quadrática de suas partículas.



// A teoria cinética dos gases leva-nos a “visualizar” uma amostra de gás perfeito formada por um grande número de partículas (10^{20} por cm^3), de dimensões desprezíveis, que se movem em todas as direções de modo aleatório.

A temperatura na Teoria Cinética

Na Teoria Cinética, a temperatura é determinada por

$$T = \frac{M}{3R}(\bar{v})^2$$

sendo M a massa molar do gás.

Diz-se, portanto, que a temperatura absoluta de um gás perfeito é função da velocidade média quadrática de suas partículas e da natureza do gás.

A energia interna de um gás perfeito

A **energia interna** de um gás perfeito é calculada por

$$U = \frac{3}{2}nRT$$

e é função exclusiva do número de mols (n) e da temperatura absoluta (T) do gás.

Equipartição de energia

Utilizando o nosso modelo teórico de gás, em que cada partícula de gás perfeito é representada por uma esfera de dimensões desprezíveis, sabemos que cada uma delas tem **três graus de liberdade**, que indicam o movimento de translação na direção de cada um dos três eixos x , y e z de um sistema cartesiano de referência. Os gases reais monoatômicos têm comportamento bem próximo do comportamento dos gases perfeitos, podendo sua energia interna, com boa aproximação, também ser expressa por:

$$R = \frac{3}{2}nRT = \frac{3}{2}pV$$

O **teorema da equipartição da energia** estabelece que a divisão dessa energia deve ser feita de maneira igual para cada grau de liberdade. Assim:

$$U_x = U_y = U_z = \frac{1}{2}nRT$$

A energia cinética média molecular

Determina-se a **energia cinética média** molecular por:

$$E_{c_m} = \frac{3}{2}kT$$

sendo k a **constante de Boltzmann**:

$$k = \frac{R}{A} = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{J}{K}$$

Termodinâmica

A **Termodinâmica** estuda as transformações e as relações existentes entre dois tipos de energia: energia mecânica e energia térmica.

Energia interna, trabalho e calor

No estudo da Termodinâmica dos Gases Perfeitos, são parâmetros básicos as grandezas físicas **energia interna** (U), **trabalho** (τ) e **quantidade de calor** (Q), associadas a uma transformação sofrida pelo gás perfeito. Vejamos melhor cada uma dessas três grandezas.

Energia interna

Relacionando a Lei de Joule com a Equação de Clapeyron, tem-se

$$U = \frac{3}{2}nRT = \frac{3}{2}pV$$

Trabalho

Na **expansão**, $\tau_{gás} > 0$, e o gás fornece energia na forma de trabalho: o gás realiza trabalho.

Na **compressão**, $\tau_{gás} < 0$, e o gás recebe energia na forma de trabalho: o gás recebe trabalho.

Lei Zero da Termodinâmica

A Lei Zero da Termodinâmica diz que dois sistemas físicos estão em equilíbrio se, ao serem colocados em contato térmico, não há fluxo de calor entre eles.

A 1ª Lei da Termodinâmica

O conhecido **Princípio da Conservação da Energia**, quando aplicado à Termodinâmica, recebe a denominação de **1ª Lei da Termodinâmica**. Essa lei pode ser enunciada da seguinte forma:

Para todo sistema termodinâmico existe uma função característica denominada **energia interna**. A variação dessa energia interna (ΔU) entre dois estados quaisquer pode ser determinada pela diferença entre a quantidade de calor (Q) e o trabalho ($\tau_{gás}$) trocados com o meio externo.

Matematicamente, essa lei pode ser expressa por:

$$\Delta U = Q - \tau_{\text{gás}}$$

Transformações termodinâmicas particulares

Transformação isotérmica

Nas transformações isotérmicas, a temperatura do sistema gasoso mantém-se constante e, em consequência, a variação de sua energia interna é nula ($\Delta U = 0$). Assim,

$$Q = \tau_{\text{gás}}$$

Transformação isométrica

Nas transformações isométricas (também denominadas isovolumétricas, ou ainda isocóricas), o volume do gás mantém-se constante e, em consequência, o sistema não troca trabalho com o meio externo ($\tau_{\text{gás}} = 0$). Assim,

$$\Delta U = Q$$

Transformação isobárica

Nas transformações isobáricas, a pressão do sistema gasoso mantém-se constante. Dessa forma, a análise do que ocorre é feita pela **Equação de Clapeyron**:

$$pV = nRT$$

Trabalho de um gás em uma transformação isobárica (τ_p)

A equação do trabalho do gás em uma transformação isobárica fica expressa pelo produto da pressão (p), que permanece constante, pela variação de volume (ΔV) sofrida pelo gás perfeito:

$$\tau_p = p\Delta V = nR\Delta T$$

Transformação adiabática

Nas transformações adiabáticas, não há troca de calor entre o sistema e o meio externo. Assim,

$$\Delta U = -\tau_{\text{gás}}$$

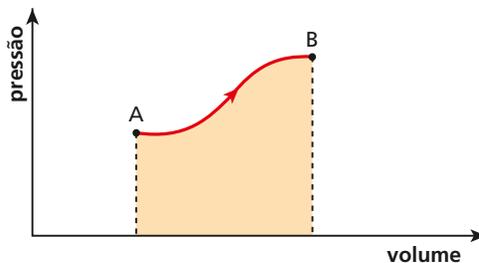
Expansão livre

Na expansão livre, como o gás não sofreu resistência em sua expansão, ele não realiza trabalho ($\tau_{\text{gás}} = 0$). Pelo fato de o processo ser adiabático, também não há troca de calor ($Q = 0$). Assim, a variação de energia interna é nula ($\Delta U = 0$) e a temperatura mantém-se constante durante todo o processo.

Diagramas termodinâmicos

No estudo da Termodinâmica dos Gases Perfeitos, é de grande importância o **Diagrama de Clapeyron**, que representa a relação existente entre a pressão, o volume e a temperatura absoluta de uma massa de gás perfeito.

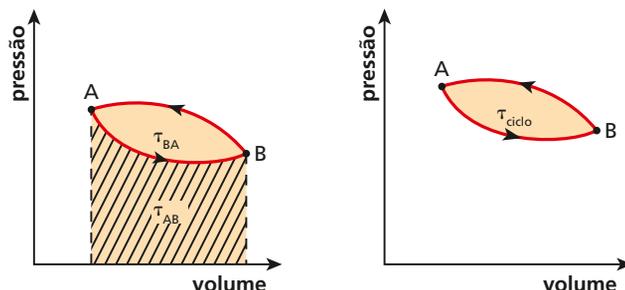
Transformação aberta



Banco de imagens/Arquivo da editora

// Na transformação AB, o módulo do trabalho é dado pela "área" sob a curva.

Transformação cíclica



Banco de imagens/Arquivo da editora

// Na transformação AB, o módulo do trabalho é dado pela "área" hachurada (trabalho realizado $\Rightarrow \tau_{AB} > 0$) e, na transformação BA, é dado pela área bege (trabalho recebido $\Rightarrow \tau_{BA} < 0$).

Ao determinarmos o trabalho total, resta apenas a "área interna" à curva fechada.

Calores específicos dos gases perfeitos

É importante observar que um mesmo gás tem um calor específico para transformações a pressão constante (c_p) e outro para transformações a volume constante (c_v). Dessa forma:

$$c_p > c_v$$

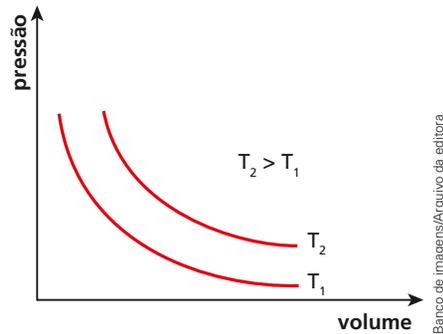
Os calores específicos a pressão e volume constantes se relacionam pela **Relação de Mayer**:

$$\frac{R}{M} = c_p - c_v$$

Em termos de **calor específico molar**, tem-se:

$$R = C_p - C_v$$

O gráfico da adiabática



A transformação adiabática ($Q = 0$) tem por expressão analítica a Equação de Poisson:

$$pV^\gamma = \text{constante}$$

em que

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v} \quad (\text{expoente de Poisson})$$

Energia mecânica e o calor

A energia mecânica de um sistema pode ser dos tipos cinética ou potencial (gravitacional ou elástica). Muitas vezes, essa energia mecânica transforma-se em energia térmica, produzindo aquecimento do sistema.

Geralmente, a energia mecânica é medida em joules (J) e a energia térmica, em calorias (cal). Dessa forma, é importante saber a relação existente entre essas unidades, para possíveis conversões:

$$1 \text{ caloria} = 4,186 \text{ joules}$$

As máquinas térmicas e a 2ª Lei da Termodinâmica

São denominadas **máquinas térmicas** os dispositivos usados para converter energia térmica em energia mecânica.

O trabalho realizado pela máquina térmica é igual à diferença entre os módulos do calor recebido da fonte quente e do calor rejeitado para a fonte fria:

$$\tau = |Q_A| - |Q_B|$$

A 2ª Lei da Termodinâmica

O **rendimento** de uma máquina térmica é definido pela fração do calor recebido da fonte quente que é usada para a realização de trabalho:

$$\eta = 1 - \frac{|Q_B|}{|Q_A|}$$

O enunciado de Kelvin-Planck para a **2ª Lei da Termodinâmica** nos diz que:

É impossível construir uma máquina que, operando em transformações cíclicas, tenha como único efeito transformar completamente em trabalho a energia térmica recebida de uma fonte quente.

O enunciado de Rudolf Clausius a enunciar a 2ª Lei da Termodinâmica afirma que:

É impossível uma máquina, sem ajuda de um agente externo, conduzir calor de um sistema para outro que esteja a uma temperatura maior.

O ciclo de Carnot

Os dois Postulados de Carnot são:

Nenhuma máquina operando entre duas temperaturas fixadas pode ter rendimento maior que a máquina ideal de Carnot, operando entre essas mesmas temperaturas. Ao operar entre duas temperaturas, a máquina ideal de Carnot tem o mesmo rendimento, qualquer que seja o fluido operante.

Para a máquina de Carnot, o rendimento é dado por:

$$\eta = 1 - \frac{T_B}{T_A}$$

De qualquer forma, podemos dizer que:

O **zero absoluto** é a temperatura da fonte fria de uma máquina ideal de Carnot, que opere com rendimento de 100%.

Transformações reversíveis e irreversíveis

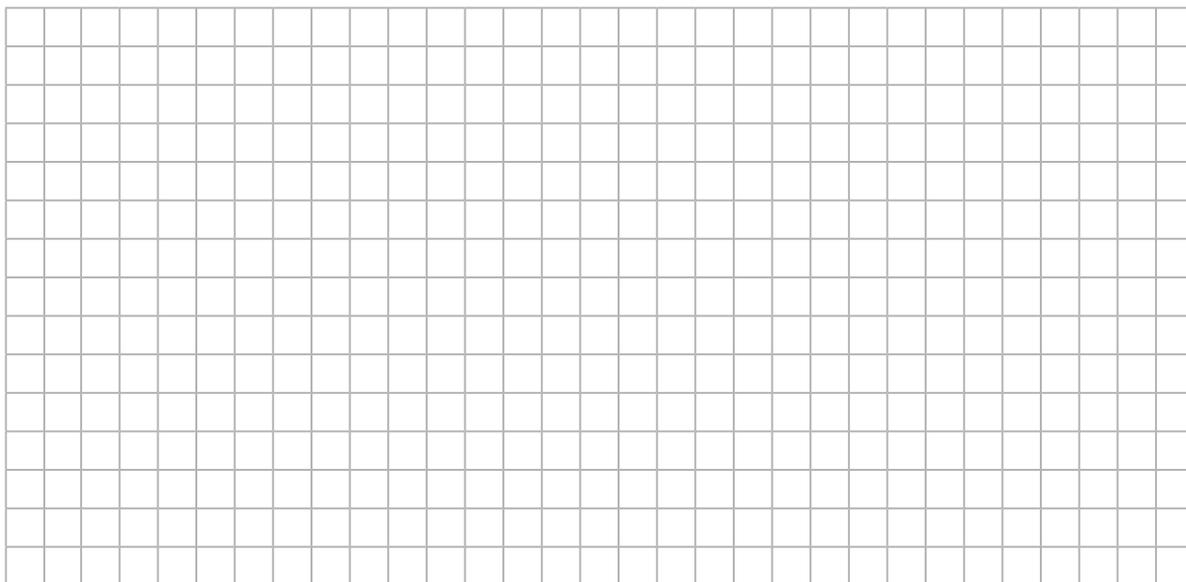
Denomina-se transformação **reversível** aquela em que, após seu término, o sistema pode retornar às suas condições iniciais pelo mesmo caminho, isto é, passando pelos mesmos estados intermediários, na sequência inversa daquela ocorrida na transformação inicial, sem interferência externa. A transformação será **irreversível** se o processo não puder satisfazer às condições citadas acima.

Entropia

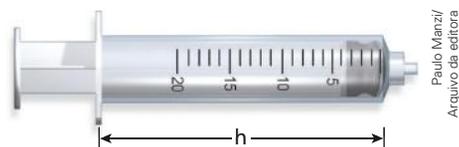
Rudolf Clausius definiu que a variação de entropia (ΔS) de um sistema, quando se agrega uma quantidade de calor (Q), mediante um processo reversível (à temperatura absoluta constante T), é dada por:

$$\Delta S = \frac{Q}{T}$$

- Com base no conjunto de dados obtidos segundo a aproximação de gás ideal, é correto afirmar que
- a) a variação da pressão do gás com seu volume foi linear, mantendo-se a temperatura constante, igual a 200 K, o que está de acordo com a Lei de Boyle.
 - b) o gás sofreu uma compressão isobárica (pressão constante), uma vez que o produto pV foi aproximadamente constante durante as medições.
 - c) a temperatura do gás manteve-se constante durante o experimento, com um valor aproximadamente igual a 300 K.
 - d) a temperatura do gás manteve-se constante durante o experimento, com um valor aproximadamente igual a 121 K.

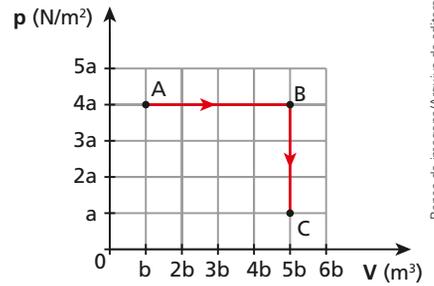


- 5.** O êmbolo de uma seringa tampada é deslocado para a esquerda de modo que a distância h sofre uma redução de 20%. Como essa compressão ocorre a uma temperatura constante, qual o aumento percentual da pressão do ar no interior da seringa?



8. Certa massa de gás perfeito sofre as transformações sucessivas $A \rightarrow B$ e $B \rightarrow C$ como está indicado no gráfico da pressão p , em N/m^2 , em função do volume V , em m^3 , ao lado.

A relação entre as temperaturas absolutas do gás nas situações dos pontos **A** e **C**, $\frac{T_A}{T_C}$, bem como o trabalho τ em joules realizado pela massa gasosa desde **A** até **C** estão indicados corretamente na alternativa:



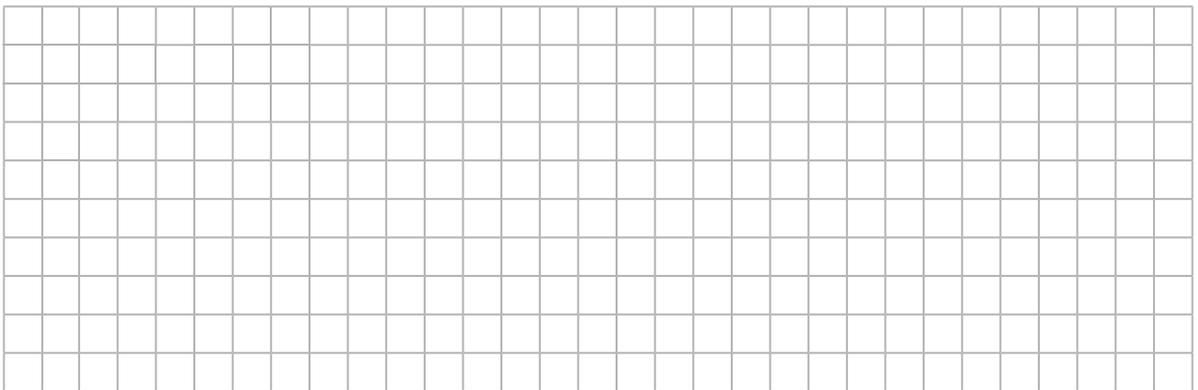
a) $\frac{T_A}{T_C} = \frac{4}{5}$ e $\tau = 16 ab$

c) $\frac{T_A}{T_C} = \frac{4}{5}$ e $\tau = 12 ab$

e) $\frac{T_A}{T_C} = \frac{2}{3}$ e $\tau = 18 ab$

b) $\frac{T_A}{T_C} = \frac{5}{4}$ e $\tau = 12 ab$

d) $\frac{T_A}{T_C} = \frac{3}{2}$ e $\tau = 16 ab$



9. (Fatec-SP)

O gráfico apresenta o comportamento de um gás ideal em um processo cíclico que se inicia no ponto A.

Com base no gráfico apresentado, podemos afirmar corretamente que

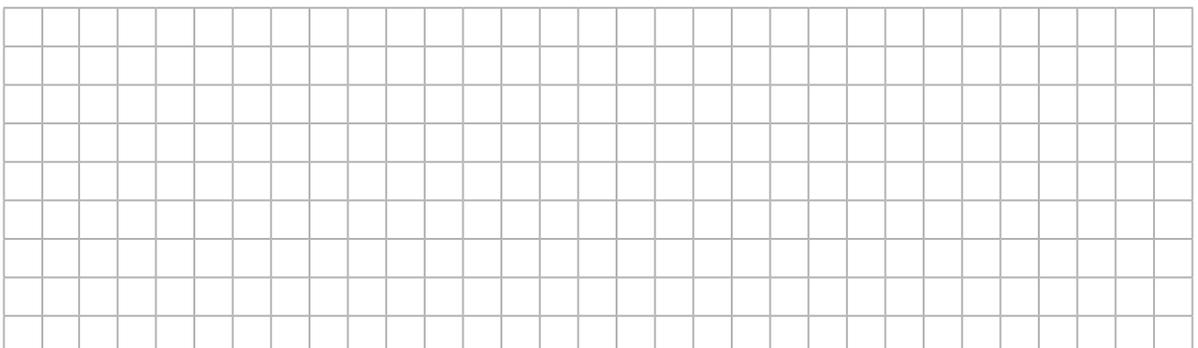
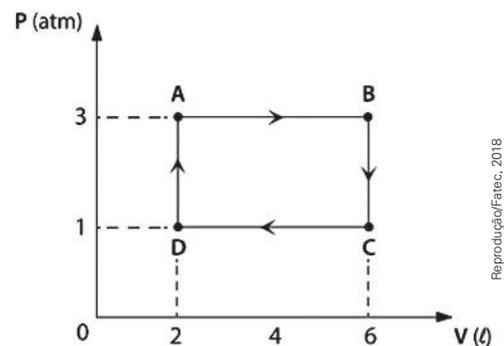
a) entre os pontos D e A ocorre transformação isocórica e o trabalho realizado pelo gás é negativo.

b) entre os pontos B e C ocorre transformação isocórica e o trabalho realizado pelo gás é nulo.

c) entre os pontos C e D ocorre transformação isobárica e o trabalho realizado pelo gás é nulo.

d) entre os pontos A e B ocorre transformação isocórica de compressão.

e) entre os pontos A e D ocorre transformação isobárica de expansão.

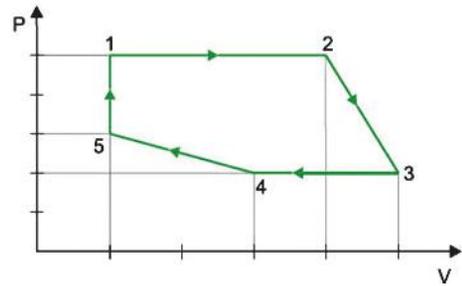


10. (Famerp-SP)

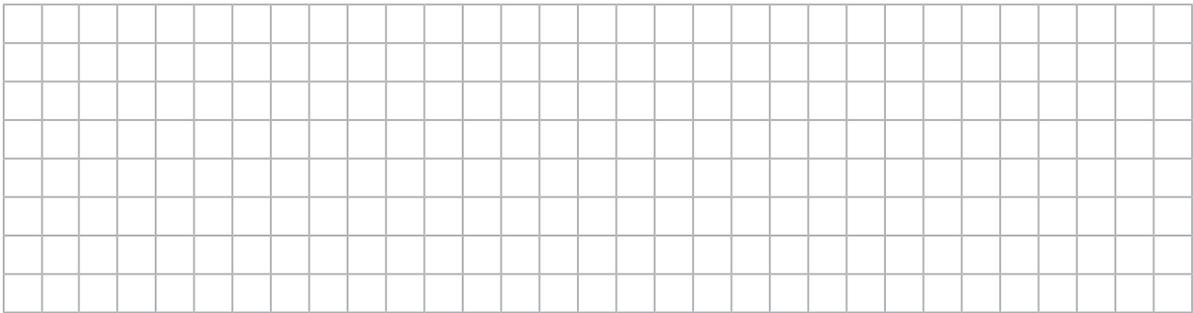
Certa massa de gás ideal sofre a transformação cíclica 1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 1 representada no diagrama de pressão (P) e volume (V).

O trecho em que a força exercida pelo gás realiza o maior trabalho é

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

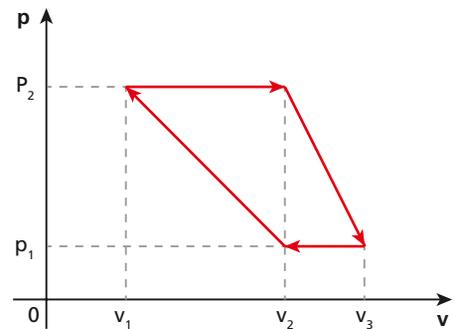


Reprodução/Famerp, 2018



11. A internet e as incontáveis possibilidades de comunicação pessoal e corporativa caracterizam o atual momento como a **4ª Revolução Industrial**. A **1ª Revolução Industrial** teve como fundamento tecnológico as máquinas térmicas, criadas no final do século XVIII e aprimoradas na primeira metade do século XIX, hoje com tendência a se tornarem peças de museu. No diagrama da pressão (p) em função do volume (V) a seguir está representado o ciclo termodinâmico que um motor térmico repete em intervalos de tempo sucessivos de duração T . Das alternativas abaixo, aponte aquela que traduz a potência fornecida por esse motor:

- a) $\frac{(V_2 - V_1)(p_2 - p_1)}{2}$
- b) $\frac{(V_2 - V_1)(p_2 - p_1)}{2T}$
- c) $\frac{(V_3 - V_1)(p_2 - p_1)}{2}$
- d) $\frac{(V_3 - V_1)(p_2 - p_1)}{2T}$
- e) $\frac{2(V_3 - V_1)(p_2 - p_1)}{T}$

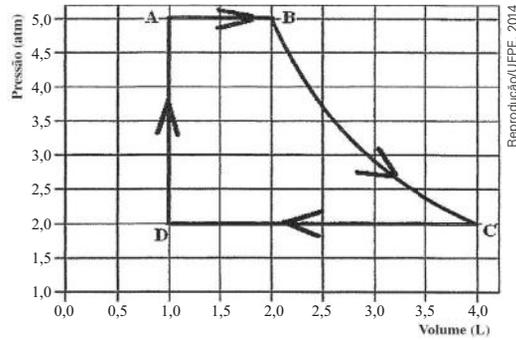


Banco de imagens/Arquivo da editora



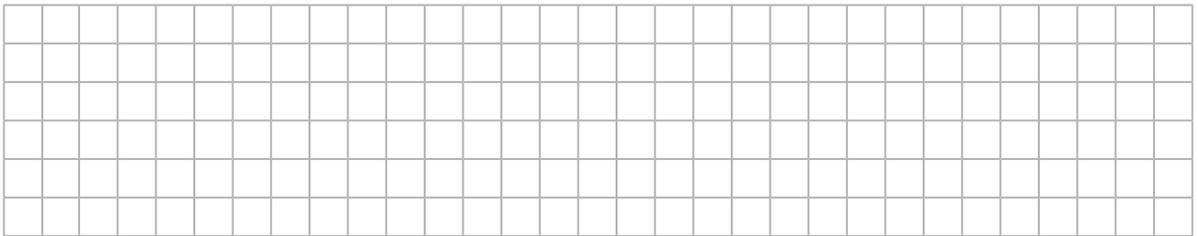
12. (UFPE)

Um ciclo reversível é operado com uma amostra de gás ideal em acordo com o diagrama pressão versus volume que segue.



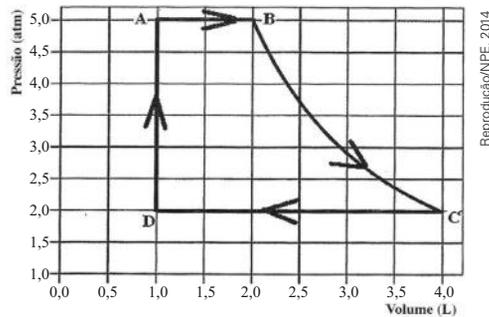
A transformação BC é uma adiabática e nessa transformação o gás realiza um trabalho de $6,2 \text{ atm} \cdot \text{L}$. Qual é o trabalho no ciclo?

- a) $5,2 \text{ atm} \cdot \text{L}$ b) $11,2 \text{ atm} \cdot \text{L}$ c) $15,2 \text{ atm} \cdot \text{L}$ d) $17,2 \text{ atm} \cdot \text{L}$



13. (UFPE)

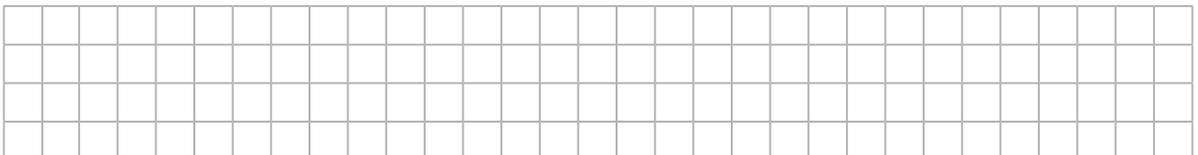
Um ciclo reversível é operado com uma amostra de gás ideal em acordo com o diagrama pressão versus volume que segue.



A transformação BC é uma adiabática, isto é, o gás não troca calor com o entorno.

Sobre a temperatura na transformação BC e o calor trocado pelo gás com o entorno na transformação DA afirma-se que

- a) a temperatura permanece constante e o gás absorve calor.
 b) a temperatura diminui e o gás absorve calor.
 c) a temperatura permanece constante e o gás cede calor.
 d) a temperatura diminui e o gás cede calor.



14. (FGV-SP)

Estamos passando por uma fase de grande evolução tecnológica. O aperfeiçoamento das máquinas e motores é evidente e, dentro em breve, o motor térmico será considerado peça de museu. Considere, no entanto, um motor térmico que realiza um ciclo representado qualitativamente pelo gráfico da pressão (p) versus volume (V) da figura, em que sua frequência de giro é f .

Com esses dados, a potência efetiva desse motor será dada por

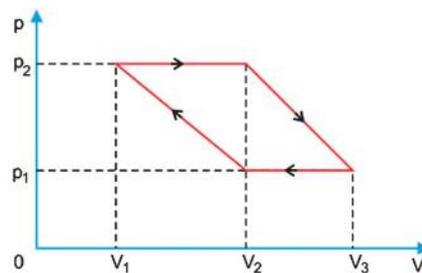
a) $Pot_e = f \cdot [(V_2 - V_1) + (V_3 - V_2)] \cdot (p_2 - p_1)$

b) $Pot_e = \frac{f \cdot [(V_2 - V_1) + (V_3 - V_2)] \cdot (p_2 - p_1)}{2}$

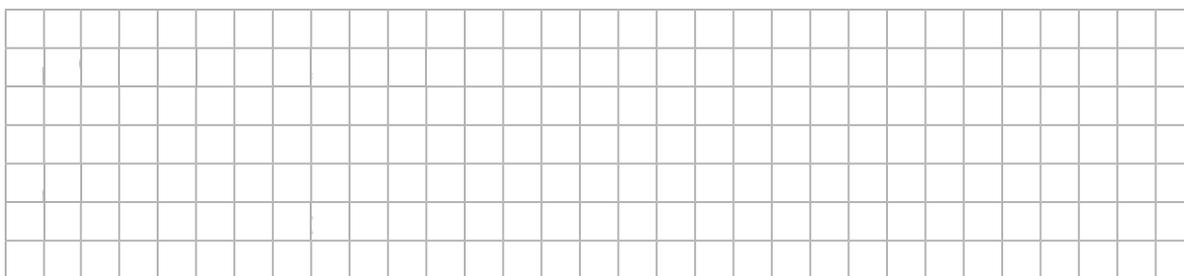
c) $Pot_e = 2 \cdot f \cdot [(V_2 - V_1) + (V_3 - V_2)] \cdot (p_2 - p_1)$

d) $Pot_e = \frac{[(V_2 - V_1) + (V_3 - V_2)] \cdot (p_2 - p_1)}{f}$

e) $Pot_e = \frac{2 \cdot [(V_2 - V_1) + (V_3 - V_2)] \cdot (p_2 - p_1)}{f}$



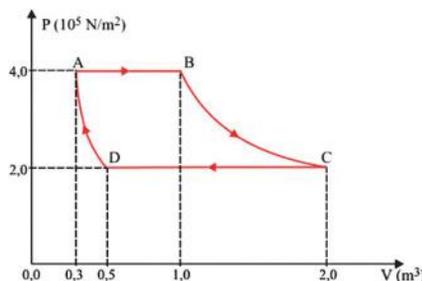
Reprodução/FGV, 2018



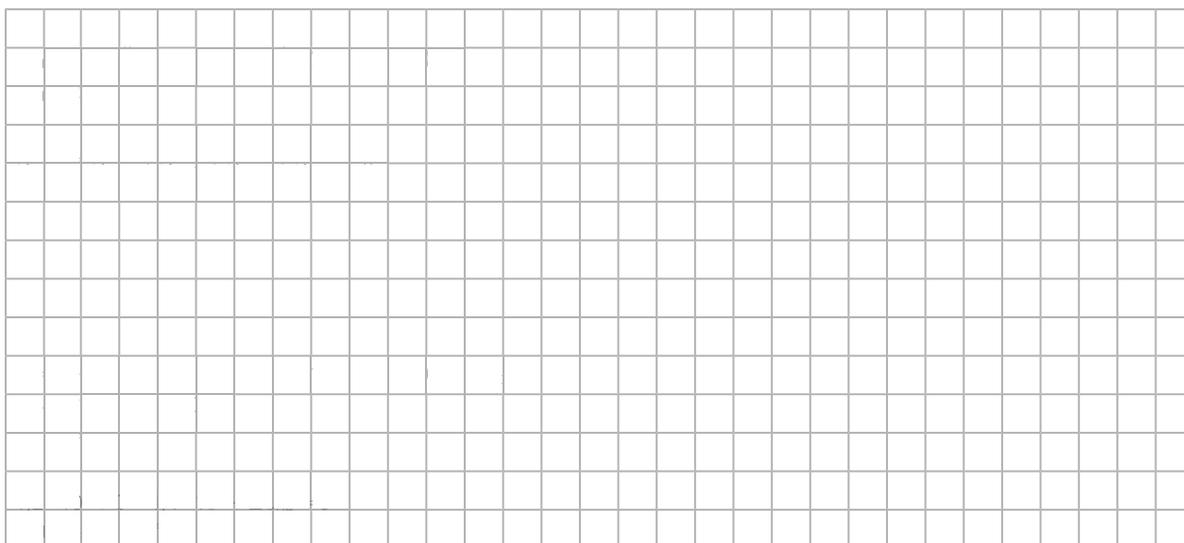
15. (Unesp-SP)

Determinada massa de gás ideal sofre a transformação cíclica ABCDA mostrada no gráfico. As transformações AB e CD são isobáricas, BC é isotérmica e DA é adiabática. Considere que, na transformação AB, 400 kJ de calor tenham sido fornecidos ao gás e que, na transformação CD, ele tenha perdido 440 kJ de calor para o meio externo.

Calcule o trabalho realizado pelas forças de pressão do gás na expansão AB e a variação de energia interna sofrida pelo gás na transformação adiabática DA.

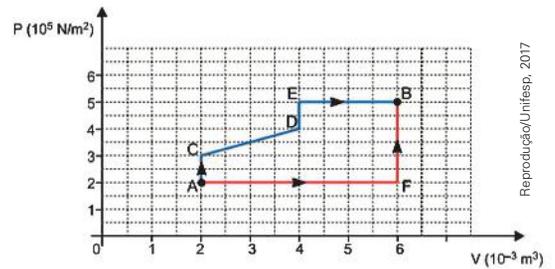


Reprodução/Unesp, 2013



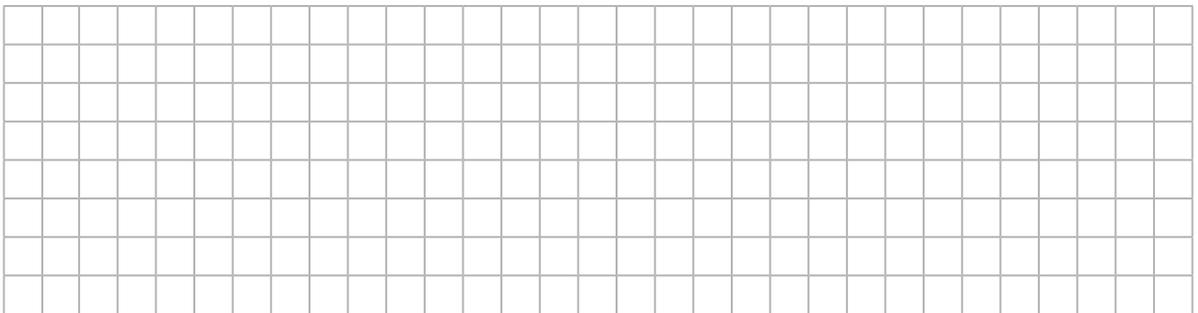
16. (Unifesp)

Uma massa constante de gás ideal pode ser levada de um estado inicial **A** a um estado final **B** por dois processos diferentes, indicados no diagrama $P \times V$. Para ocorrer, a transformação **ACDEB** exige uma quantidade Q_1 de calor e a transformação **AFB** exige uma quantidade Q_2 de calor. Sendo T_A e T_B as temperaturas absolutas do gás nos estados **A** e **B**, respectivamente, calcule:



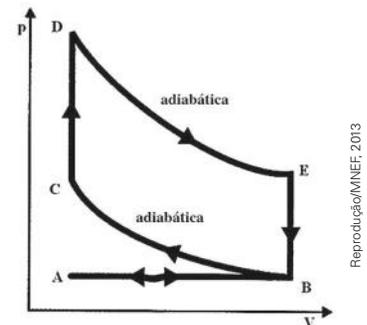
a) o valor da $\frac{T_B}{T_A}$.

b) o valor da diferença $Q_1 - Q_2$, em joules.



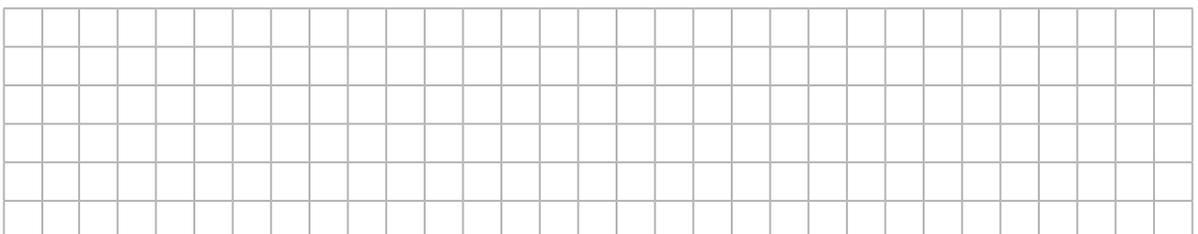
17. (SBF)

O motor de um automóvel é constituído por um sistema cilindro-gás-pistão, no qual ocorrem transformações com a mistura ar-combustível durante quatro etapas (admissão, compressão, explosão e exaustão). O funcionamento desse motor é um processo cíclico – Ciclo de Otto –, no qual o gás contido em um cilindro com pistão é levado do estado inicial **A** até o estado **B**, e retorna ao estado inicial **A** passando pelos estados **CDEB**. O diagrama pressão (p) por volume (V) indicado na figura apresenta essa situação.



Sobre o processo cíclico do motor, pode-se afirmar que:

- A etapa AB corresponde à admissão da mistura ar-combustível, que sofre uma expansão no interior do cilindro sem variação de pressão.
- A etapa BC corresponde à compressão da mistura ar-combustível, que sofre uma elevação da pressão sem o aumento de sua temperatura.
- A etapa CD corresponde à explosão da mistura ar-combustível, que resulta no aumento do volume e da pressão no interior do cilindro.
- A etapa EB corresponde à exaustão da mistura ar-combustível, que resulta na redução da pressão e do volume dos gases resultantes da explosão.



4

Dilatação térmica dos sólidos e dos líquidos

Reveja o que aprendeu

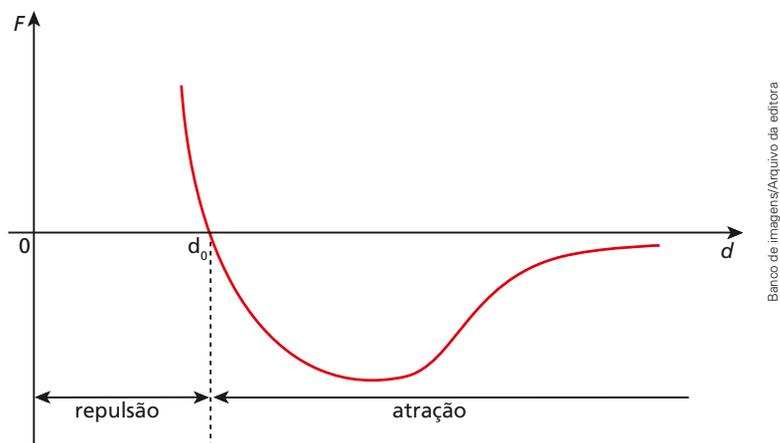
Você deve ser capaz de:

- ▶ Parametrizar a dilatação térmica em diferentes materiais.

Introdução

De modo geral, o aumento na temperatura de um corpo provoca um aumento nas suas dimensões, fenômeno denominado **dilatação térmica**. Uma diminuição de temperatura produz, em geral, uma diminuição nas dimensões do corpo, uma **contração térmica**.

Forças intermoleculares explicando a dilatação térmica



Dilatação linear dos sólidos

$$\Delta L = L_0 \alpha \Delta \theta \text{ ou } L = L_0 (1 + \alpha \Delta \theta)$$

em que α é o **coeficiente de dilatação linear**, L é o comprimento final, L_0 é o comprimento inicial e ΔL e $\Delta \theta$ representam a variação do comprimento e da temperatura, respectivamente.

Dilatação superficial dos sólidos

$$\Delta A = A_0 \beta \Delta \theta \text{ ou } A = A_0 (1 + \beta \Delta \theta)$$

em que $\beta = 2\alpha$ é o **coeficiente de dilatação superficial**, ΔA é a variação da área entre a área final (A) e a área inicial (A_0).

Dilatação volumétrica de sólidos

$$\Delta V = V_0 \gamma \Delta \theta \text{ ou } V = V_0 (1 + \gamma \Delta \theta)$$

em que $\gamma = 3\alpha$ é o **coeficiente de dilatação volumétrica** ou **cúbica** e ΔV é a variação do volume entre o volume final (V) e o volume inicial (V_0).

Dilatação térmica dos líquidos

Em líquidos, só existe interesse no estudo da dilatação volumétrica, que é regida pela mesma equação da dilatação volumétrica dos sólidos:

$$V = V_0 (1 + \gamma \Delta \theta)$$

O coeficiente de dilatação real do líquido é igual à soma do seu coeficiente de dilatação aparente com o coeficiente de dilatação do frasco que o contém. Ou seja,

$$\gamma_r = \gamma_f + \gamma_a$$

Temperatura e massa específica

Define-se **massa específica** ou **densidade absoluta** (μ) de uma substância como o quociente de sua massa (m) pelo respectivo volume (V):

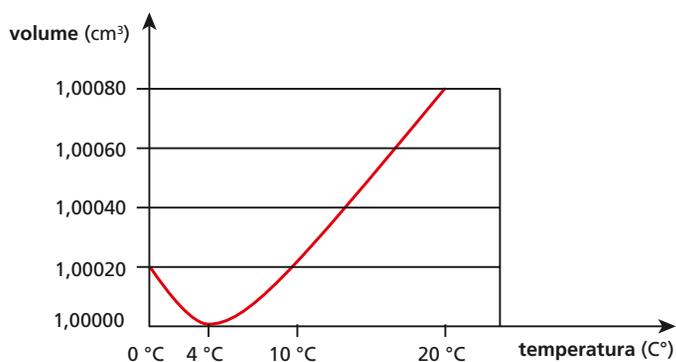
$$\mu = \frac{m}{V}$$

Com a variação de temperatura, a massa da substância considerada permanece inalterada, porém seu volume varia, o que provoca alteração em sua massa específica.

$$\mu = \frac{\mu_0}{(1 + \gamma \Delta \theta)}$$

Dilatação anormal da água

O gráfico abaixo representa a variação de volume de 1 g de água pura em função da sua temperatura.

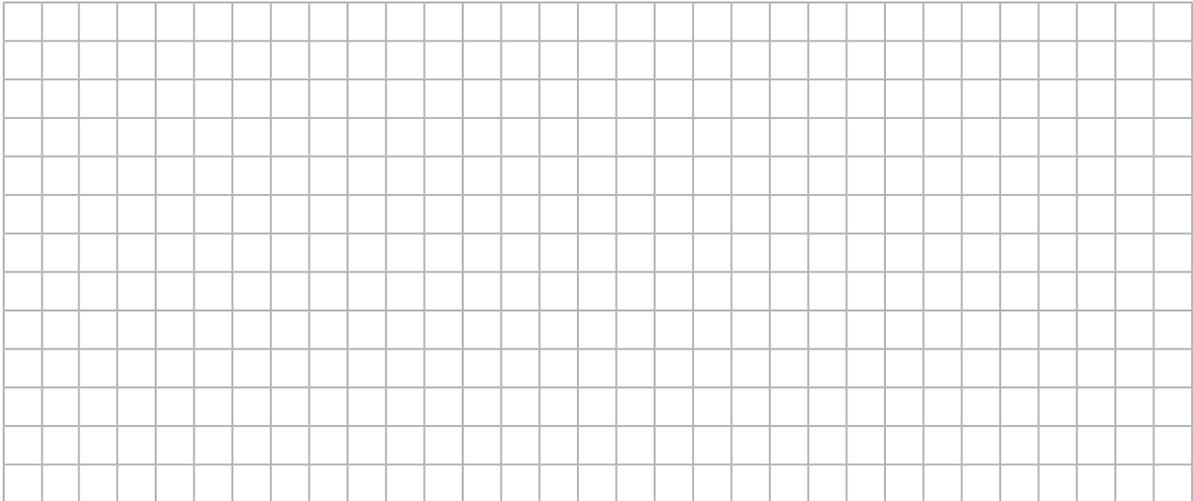


É importante observar que a 4 °C o volume da água é mínimo, portanto sua massa específica é máxima.

6. (Unisc-RS)

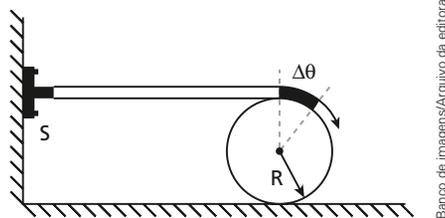
Duas barras metálicas representadas por (A) e (B) possuem comprimentos iniciais L_{0A} e L_{0B} , coeficientes de dilatação lineares α_A e α_B e sofreram variações de temperatura ΔT_A e ΔT_B , respectivamente. Sabendo que $L_{0A} = 5 \cdot L_{0B}$, $\alpha_B = 8 \alpha_A$ e $\Delta T_A = 2 \cdot \Delta T_B$, podemos escrever que a razão entre as variações de comprimento ΔL_A e ΔL_B , ou seja, $\frac{\Delta L_A}{\Delta L_B}$ vale

- a) 0,25 b) 0,50 c) 0,80 d) 1,25 e) 1,50



7. (UPE)

Uma barra de coeficiente de dilatação $\alpha = 5\pi \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, comprimento 2,0 m e temperatura inicial de $25 \text{ } ^\circ\text{C}$ está presa a uma parede por meio de um suporte de fixação S. A outra extremidade da barra B está posicionada no topo de um disco de raio $R = 30 \text{ cm}$. Quando aumentamos lentamente a temperatura da barra até o valor final T, verificamos que o disco sofre um deslocamento angular $\Delta\theta = 30^\circ$ no processo. Observe a figura a seguir:



Banco de imagens/Arquivo da editora

Supondo que o disco rola sem deslizar e desprezando os efeitos da temperatura sobre o suporte S e também sobre o disco, calcule o valor de T.

- a) $50 \text{ } ^\circ\text{C}$ b) $75 \text{ } ^\circ\text{C}$ c) $125 \text{ } ^\circ\text{C}$ d) $300 \text{ } ^\circ\text{C}$ e) $325 \text{ } ^\circ\text{C}$



5

Movimento harmônico simples (MHS)

Reveja o que aprendeu

Você deve ser capaz de:

- Reconhecer as grandezas características do movimento harmônico simples.

Movimento oscilatório

Um movimento é **oscilatório** (ou vibratório) quando ocorre com alternâncias de sentido, porém na mesma trajetória para os dois sentidos.

Quando o bloco repete uma situação inicial, dizemos que completou um ciclo, uma **vibração** ou uma **oscilação**. É o que acontece quando ele sai de **A**, vai até **B** e volta a **A**.

O intervalo de tempo decorrido num ciclo é o **período** do movimento, e o número de ciclos completados na unidade de tempo é a **frequência**.

Movimento periódico

Um movimento é periódico quando a posição, a velocidade e a aceleração do móvel (estado cinemático) repetem-se em intervalos de tempo iguais.

O intervalo de tempo necessário para que ocorra uma repetição do movimento é denominado **período** do movimento (T). Assim, se ocorrerem n repetições do movimento num intervalo de tempo Δt , seu período será:

$$T = \frac{\Delta t}{n} \quad (I)$$

Outra grandeza a ser destacada num movimento periódico é sua **frequência** (f), que corresponde ao número de vezes que esse movimento se repete na unidade de tempo. Assim, ocorrendo n repetições do movimento no intervalo de tempo Δt , sua frequência é:

$$f = \frac{n}{\Delta t} \quad (II)$$

Comparando as expressões (I) e (II), temos:

$$f = \frac{1}{T}$$

Movimento harmônico simples (MHS)

Certos movimentos oscilatórios e periódicos, descritos por funções horárias harmônicas (funções seno ou cosseno), são denominados **movimentos harmônicos simples (MHS)**.

No MHS, a abscissa (espaço) x é medida a partir do ponto médio da trajetória e denomina-se **elongação**.

No ponto médio da trajetória, temos $x = 0$ (elongação nula) e, nos pontos extremos da trajetória, temos $x = -A$ (**elongação mínima**) e $x = A$ (**elongação máxima**).

A grandeza A , que corresponde ao raio da circunferência e é também a elongação máxima do MHS, denomina-se **amplitude** do MHS.

Função horária de um MHS

A função horária da elongação de um MHS é

$$x = A \cos(\omega t + \varphi_0)$$

sendo a constante ω (velocidade angular da partícula em MCU) denominada **pulsção** ou **frequência angular** do MHS, a constante φ_0 é a **constante de fase** ou **fase inicial**.

Função horária da velocidade escalar instantânea

A função horária da velocidade escalar instantânea v em um MHS é:

$$v = -\omega A \sin(\omega t + \varphi_0)$$

Função horária da aceleração escalar instantânea

A função horária da aceleração escalar instantânea α é:

$$\alpha = -\omega^2 A \cos(\omega t + \varphi_0)$$

Velocidade escalar no MHS em função da elongação

A velocidade escalar é dada em função da elongação x (e não em função do tempo) pela expressão:

$$v^2 = \omega^2(A^2 - x^2)$$

A **velocidade escalar máxima** no MHS é dada pelo produto da pulsção pela amplitude, ocorrendo no ponto central da trajetória:

$$v_{\text{máx}} = \omega A$$

Aceleração escalar no MHS em função da elongação

A relação entre a aceleração escalar no MHS e a elongação é:

$$\alpha = -\omega^2 x$$

A **aceleração escalar máxima** no MHS é dada pelo produto do quadrado da pulsção pela amplitude, ocorrendo no ponto de inversão em que a elongação é $x = -A$:

$$\alpha_{\text{máx}} = \omega^2 A$$

Força no MHS

$$F = -Kx$$

Essa expressão revela que o valor algébrico da **força** resultante que atua em uma partícula em MHS é **proporcional** à elongação, tendo F e x sinais opostos e K a **constante de força do MHS**. É essa característica que se deve ter em mente quando é preciso decidir se determinado movimento é ou não um movimento harmônico simples.

O **ponto de equilíbrio** de um MHS é o ponto central da trajetória, isto é, o ponto de elongação x é igual a zero.

Período do MHS

Observe que o **período** (T) do MHS não depende da amplitude das oscilações, mas apenas da **massa** (m) oscilante e da **constante de força** (K):

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{K}}$$

Oscilador massa-mola horizontal

Podemos resumir as principais informações sobre o oscilador massa-mola em plano horizontal e em condições ideais da seguinte forma:

- O corpo preso à mola executa MHS.
- A elongação no MHS é, em módulo, a própria deformação (distensão ou contração) da mola.
- A força resultante no corpo é a própria força elástica aplicada pela mola.
- No ponto de equilíbrio, a força elástica (força resultante) é nula, e a mola não está deformada.

A energia mecânica desse sistema é constante e definida por:

$$E_m = \frac{KA^2}{2}$$

Oscilador massa-mola vertical

$$F = -Kx$$

Pêndulo simples

Chamamos de **pêndulo simples** o sistema ideal constituído de uma partícula com massa m suspensa a um fio inextensível e de massa desprezível.

Seu período é:

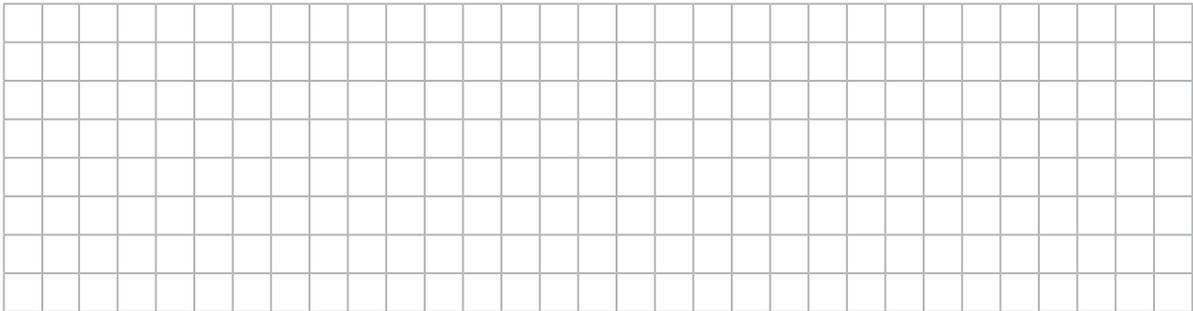
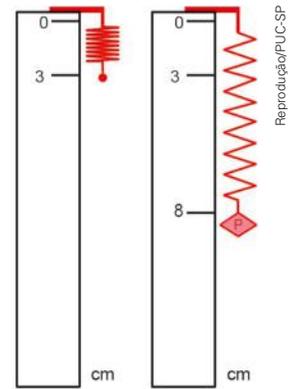
$$T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}}$$

4. (PUC-SP)

Na figura ao lado, está representada a situação de equilíbrio de uma mola ideal quando livre e depois de ser presa a um corpo de massa 400 g.

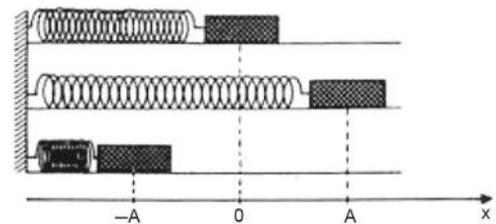
Considere $g = 10 \text{ m/s}^2$ e determine:

- a constante elástica da mola;
- o tipo e o período do movimento que o corpo descreveria, caso fosse suspenso 1 cm de sua posição de equilíbrio. Despreze a criação do ar sobre o movimento.

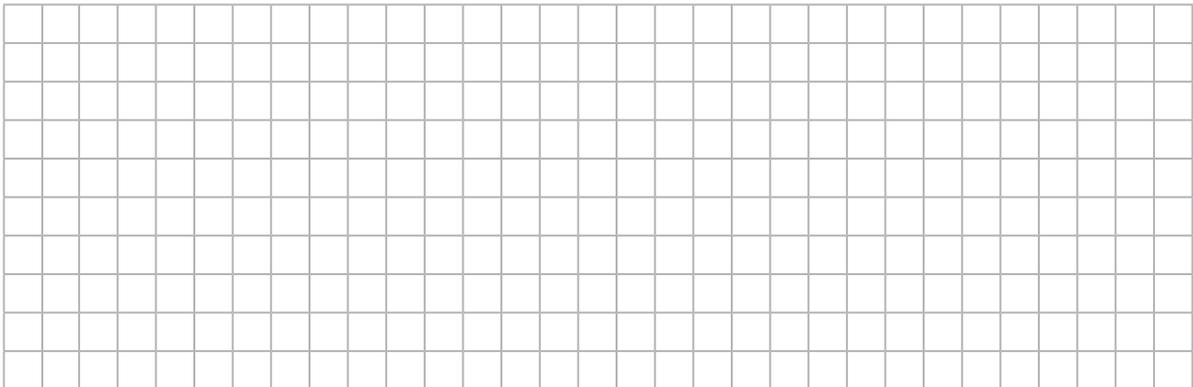


5. (UEM-PR)

Um corpo de massa igual a 2,0 kg oscila sobre uma mesa horizontal lisa, preso a uma mola também horizontal, cuja constante elástica é $k = 200 \text{ N/m}$. A amplitude da oscilação é $A = 10 \text{ cm}$. Nessas condições, dê como resposta a soma dos números correspondentes às afirmações corretas. Considere $g = 10 \text{ m/s}^2$.



- (01) A força que a moça exerce sobre o corpo é constante e vale 20 N.
- (02) Se nenhuma força externa agir sobre o sistema, o mesmo oscilará indefinidamente.
- (04) A frequência angular de oscilação é de 10 rad/s.
- (08) O módulo da velocidade máxima do corpo é de 1,0 m/s e ocorre no ponto de máximo deslocamento, em relação à posição de equilíbrio.
- (16) O período de oscilação é igual a $\frac{\pi}{5}$ s.



TOTAL DE ACERTOS _____ / 5

Reveja o que aprendeu

Você deve ser capaz de:

- ▶ Estudar as propriedades de fenômenos ondulatórios.

Ondas mecânicas e ondas eletromagnéticas

Onda mecânica é a propagação de energia através de partículas de um meio material, sem que essas partículas sejam transportadas.

Uma onda mecânica nunca se propaga no vácuo.

Ondas eletromagnéticas constituem um conjunto de dois campos, um elétrico e outro magnético, que se propagam no vácuo com velocidade aproximada de 300 000 km/s. Em meios materiais, quando ocorre propagação, a velocidade é menor que 300 000 km/s.

Ondas longitudinais, ondas transversais e ondas mistas

Ondas longitudinais

São ondas mecânicas que produzem perturbações nas partículas do meio material na mesma direção em que se propagam.



Banco de imagens/
Arquivo da editora

Ondas transversais

São ondas em que as vibrações ocorrem perpendicularmente à direção de propagação.



Banco de imagens/
Arquivo da editora

Ondas mistas

São ondas mecânicas constituídas de vibrações transversais e longitudinais simultâneas.



Banco de imagens/
Arquivo da editora

Frente de onda e raio de onda

Frente de onda é a fronteira entre a região já atingida pela onda e a região ainda não atingida.

Raio de onda é uma linha orientada que tem origem na fonte de ondas e é perpendicular às frentes de onda. Os raios de onda indicam a direção e o sentido de propagação das ondas num meio.

Grandezas físicas associadas às ondas

As principais grandezas associadas às ondas são: **amplitude** (A), **período** (T), **frequência** (f) e **comprimento de onda** (λ).

A unidade de frequência no SI é o hertz (Hz), valendo a relação:

$$f = \frac{1}{T}$$

Velocidade de propagação de uma onda periódica

A velocidade de propagação de todas as ondas é dada por:

$$v = \lambda f$$

O som

O som é constituído de um conjunto de ondas mecânicas que podem ser percebidas pelo sistema auditivo dos seres humanos e de muitos outros animais.

A luz

A luz, que é uma onda eletromagnética, só pode sensibilizar nosso sistema visual se tiver sua frequência compreendida entre $4 \cdot 10^{14}$ Hz e $8 \cdot 10^{14}$ Hz, aproximadamente. Nessa faixa, na ordem crescente de frequências, encontramos as cores vermelha, alaranjada, amarela, verde, azul, anil e violeta, que formam as sete cores principais que observamos no arco-íris. As frequências logo abaixo dos $4 \cdot 10^{14}$ Hz são denominadas **infravermelhas** e as logo acima dos $8 \cdot 10^{14}$ Hz **ultravioletas**.

Velocidade de propagação de ondas transversais em cordas tensas

Considerando uma corda de massa m e comprimento L , temos que a densidade linear (δ) dessa corda é a razão entre sua massa m e seu comprimento L . Assim:

$$\delta = \frac{m}{L} \quad \text{Unidade no SI: kg/m}$$

Experimentalmente se comprova que, para o cálculo da velocidade v de propagação da onda, vale a fórmula de Taylor:

$$v = \sqrt{\frac{F}{\delta}}$$

Em termos do volume $V = \pi r^2 L$ e da densidade absoluta (volumétrica) $\mu = \frac{m}{V}$, tem-se:

$$v = \frac{1}{r} \sqrt{\frac{F}{\mu \pi}}$$

A equação de uma onda periódica transversal propagando-se em uma corda tensa é

$$y = A \cos \left[2\pi \left(ft - \frac{x}{\lambda} \right) + \varphi_0 \right]$$

Reflexão

Uma onda que se propaga em um meio sofre **reflexão** quando, após incidir num segundo meio de características diferentes, volta a se propagar no meio original.

1ª Lei da Reflexão:

O raio incidente, o raio refletido e a reta normal à superfície refletora no ponto de incidência estão contidos sempre em um mesmo plano (são coplanares).

2ª Lei da Reflexão:

O ângulo formado pelo raio incidente e a normal (ângulo de incidência i) e o ângulo formado pelo raio refletido e a mesma normal (ângulo de reflexão r) são sempre de mesma medida: $i = r$.

Refração

Chama-se **refração** de uma onda a passagem dessa onda de um meio para outro, de características diferentes.

1ª Lei da Refração:

O raio incidente, a normal à fronteira no ponto de incidência e o raio refratado estão contidos no mesmo plano (são coplanares).

2ª Lei da Refração (Lei de Snell):

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

Superposição de pulsos em cordas

1ª situação: pulsos em fase (interferência construtiva)

$$A = A_1 + A_2 \quad x = x_1 + x_2$$

2ª situação: pulsos em oposição de fase (interferência destrutiva)

$$A = A_1 - A_2 \quad x = x_1 - x_2$$

Superposição de ondas periódicas

O fenômeno ondulatório denominado **batimento** é obtido pela superposição de ondas periódicas de frequências ligeiramente diferentes e de mesma amplitude (ou amplitudes próximas).

O fenômeno ondulatório denominado **ondas estacionárias** é a configuração resultante da superposição de duas ondas idênticas que se propagam na mesma direção e em sentidos opostos.

Ressonância

A **ressonância** é o fenômeno que corresponde a um sistema físico receber energia de um agente por meio de vibrações, cuja frequência coincide com uma das frequências naturais de vibração desse sistema.

Micro-ondas

Micro-ondas são ondas eletromagnéticas com frequências na faixa de 10^9 Hz a 10^{12} Hz. Como essas ondas se propagam na atmosfera de forma praticamente retilínea, são muito utilizadas nas telecomunicações, por exemplo nas transmissões de sinais de televisão ou na troca de mensagens telefônicas, também via satélite, entre dois continentes.

Interferência de ondas bidimensionais e tridimensionais

Condição de interferência construtiva caso as fontes estejam em **concordância de fase**:

$$\Delta d = N \frac{\lambda}{2} \quad \text{em que } N = 0, 2, 4, 6, \dots$$

Caso as fontes estejam em **oposição de fase**:

$$\Delta d = N \frac{\lambda}{2} \quad \text{em que } N = 1, 3, 5, 7, \dots$$

Condição de interferência destrutiva caso as fontes estejam em **concordância de fase**:

$$\Delta d = N \frac{\lambda}{2} \quad \text{em que } N = 1, 3, 5, 7, \dots$$

Caso as fontes estejam em **oposição de fase**:

$$\Delta d = N \frac{\lambda}{2} \quad \text{em que } N = 0, 2, 4, 6, \dots$$

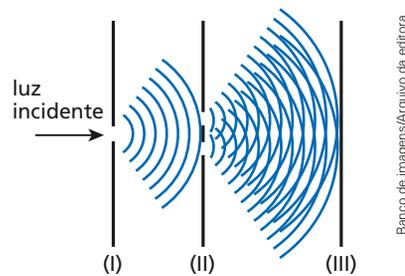
Princípio de Huygens

Cada ponto de uma frente de onda comporta-se como uma nova fonte de ondas elementares, que se propagam para além da região já atingida pela onda original e com a mesma frequência que ela.

Difração

Em um meio homogêneo, a observação nos leva a acreditar que a propagação de uma onda é retilínea. Se ela passa por um ponto **A** e, depois de algum tempo, pelo ponto **B**, ela passará por todos os pontos do segmento **AB**. No entanto, ao encontrar obstáculos à sua propagação, essa onda sofre “encurvamento” nas regiões de borda. A esse encurvamento das ondas chamamos de **difração**.

Experiência de Young



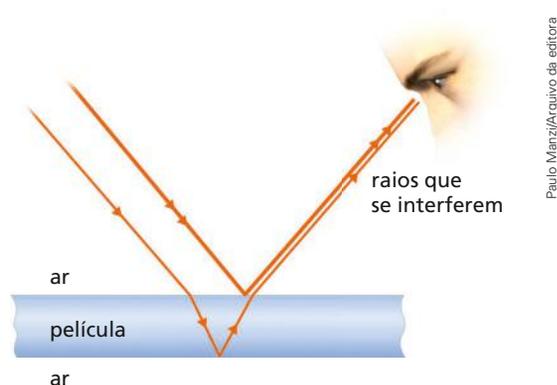
A expressão que pode ser usada para calcular a frequência ou o comprimento de onda da luz monocromática incidente no anteparo II é:

$$\lambda = \frac{2yd}{kD}$$

Observe que y é a distância entre a franja considerada e o máximo central (a distância entre duas franjas claras ou entre duas franjas escuras consecutivas é a mesma), d é o espaçamento entre as duas fendas do anteparo II, D é a distância entre os anteparos II e III e k é um número inteiro relacionado com a ordem da franja: para $k = 0, 2, 4, \dots$ temos franjas claras; para $k = 1, 3, 5, \dots$ temos franjas escuras.

Interferência em películas delgadas

A diferença do caminho percorrido por esses dois raios e a inversão de fase na reflexão da superfície externa podem proporcionar interferências construtivas ou destrutivas entre eles.



4. (UnB-DF)

Para extrair excesso de gordura do corpo humano, podem ser utilizadas várias técnicas ou procedimentos, que dependem da quantidade e da localização da gordura a ser retirada. A seguir, são descritos quatro procedimentos.

- No procedimento clássico, adequado para cirurgias simples como as de culotes, utiliza-se uma cânula, que tem a forma de um tubo, por meio da qual o cirurgião retira a gordura, fazendo movimento de vai-e-vem.
- O procedimento utilizado na lipoescultura, em que se exige precisão, é realizado por intermédio de uma seringa acoplada à cânula e, por meio de sucção manual, a gordura é retirada.
- Na técnica de ultrassom, ideal para extração de gordura mais consistente, um aparelho gerador de ondas é acoplado à cânula e faz que esta vibre, penetrando mais facilmente na pele.
- Na técnica apropriada para remover celulite, utiliza-se um aparelho vibrolipoaspirador, que substitui o movimento de vai-e-vem do cirurgião no procedimento clássico.

A respeito desses procedimentos, nos quais se aplicam conceitos de física, como pressão, ondas ultrassônicas e vibração, assinale a opção correta.

- a) Ao contrário das ondas luminosas, o som não sofre refração.
- b) Ao se puxar o êmbolo de uma seringa para colher material em estado líquido, este é aspirado porque a pressão dentro da seringa diminui devido ao aumento do volume interno, e a pressão externa, por ser maior, empurra o material para dentro da seringa.
- c) A pressão é uma grandeza vetorial, pois é definida como força (grandeza vetorial) por unidade de área (grandeza escalar).
- d) Considere que o aparelho de ultrassom gere uma onda em 22kHz. Nesse caso, sabendo-se que o som se propaga na água com 1450 m/s, conclui-se que o comprimento de onda do ultrassom, na água, é maior que 0,1 m.

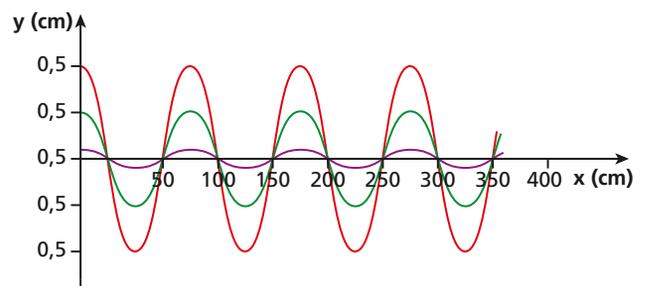


5. (FASM-SP)

A figura mostra, simultaneamente e num mesmo intervalo de tempo, três diferentes ondas de mesma natureza que se propagam em um mesmo meio.

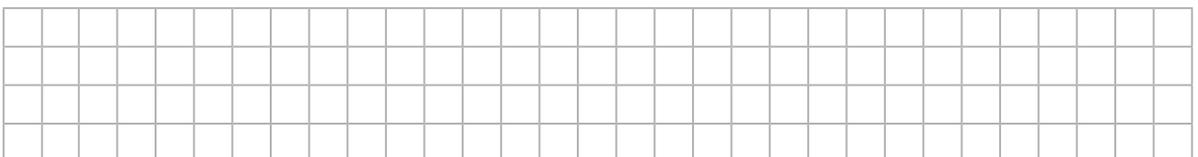
Sobre essas três ondas, é correto afirmar que possuem diferentes

- a) períodos.
- b) amplitudes.
- c) comprimentos de onda.
- d) velocidades.
- e) frequências.



(<https://saxolandia.wordpress.com>)

Banco de Imagens/Arquivo da editora



8. (Famerp-SP)

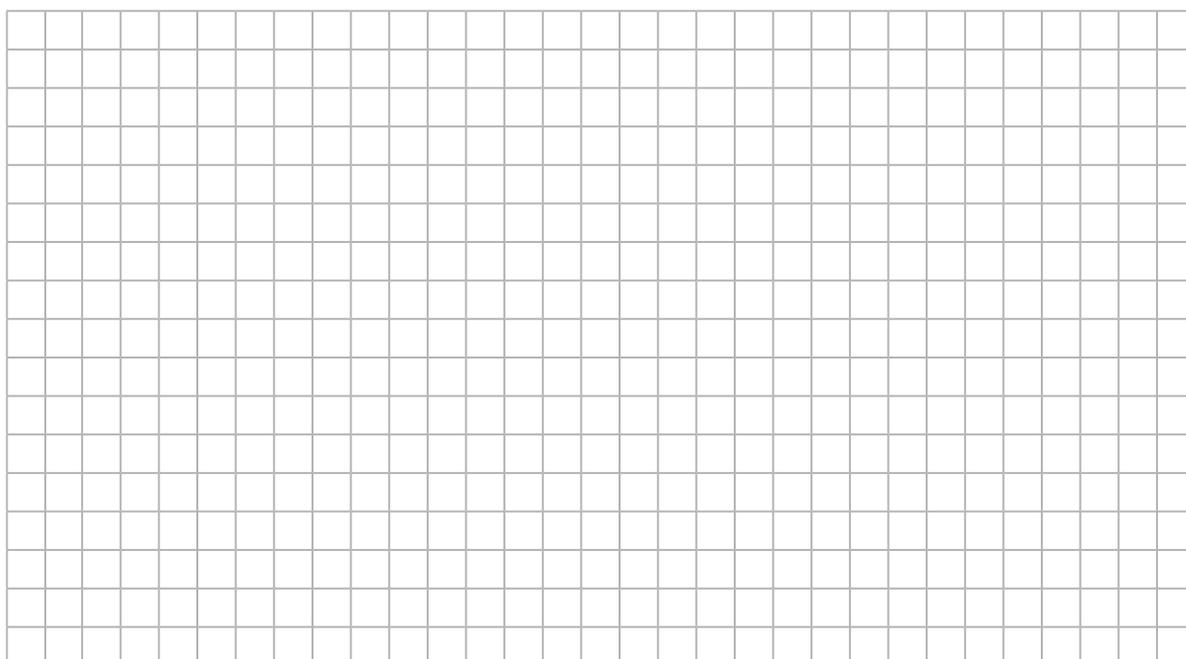
A tabela mostra a classificação das ondas eletromagnéticas em função das suas frequências.

Região do espectro eletromagnético	Faixa de frequência (Hz)
Ondas de rádio	$< 3,0 \times 10^9$
Micro-ondas	$3,0 \times 10^9$ a $3,0 \times 10^{12}$
Infravermelho	$3,0 \times 10^{12}$ a $4,3 \times 10^{14}$
Visível	$4,3 \times 10^{14}$ a $7,5 \times 10^{14}$
Ultravioleta	$7,5 \times 10^{14}$ a $3,0 \times 10^{17}$
Raios X	$3,0 \times 10^{17}$ a $3,0 \times 10^{19}$
Raios gama	$> 3,0 \times 10^{19}$

(www.if.ufrgs.br. Adaptado.)

Considere que as ondas eletromagnéticas se propagam pelo ar com velocidade $3,0 \cdot 10^8$ m/s aproximadamente e que um radar emite ondas eletromagnéticas de comprimento 2,0 cm. As ondas emitidas por esse radar são

- a) infravermelho.
- b) ultravioleta.
- c) raios X.
- d) micro-ondas.
- e) ondas de rádio.



Reveja o que aprendeu

Você deve ser capaz de:

- Diferenciar a natureza de distintos fenômenos sonoros.

Introdução

Em Acústica, estudamos as fontes das ondas sonoras e os fenômenos ondulatórios que podem ocorrer durante a propagação dessas ondas.

A propagação dos sons

O som é uma propagação de vibrações longitudinais através de meios materiais, compreendendo **compressões** e **rarefações** que se propagam. Nas compressões, a pressão é mais elevada do que seria caso não houvesse ondas (meio em equilíbrio). Nas rarefações, a pressão é mais baixa que no equilíbrio. Essas compressões e rarefações propagam-se de maneira análoga às ondas longitudinais em molas.

Como o som é uma onda mecânica, ao atingir nossa orelha, causa a sensação da audição. Para que a sensação sonora seja percebida, é necessário que a frequência dessas ondas mecânicas esteja dentro de certa faixa de valores. A faixa, por sua vez, depende do ouvinte e varia conforme a idade. De modo geral, são audíveis as ondas mecânicas com frequências compreendidas entre 20 Hz e 20 000 Hz. Apesar disso, também são chamadas de vibrações acústicas as vibrações mecânicas cujas frequências estão acima (ultrassons) ou abaixo (infrassons) desses limites.

A altura de um som é a sensação de grave ou agudo que ele provoca.

Reflexão do som

Quando as ondas sonoras atingem um obstáculo fixo, como uma parede, elas sofrem reflexão com inversão de fase.

Como acontece com qualquer onda, o som refletido também tem a mesma velocidade de propagação (em módulo), a mesma frequência e o mesmo comprimento de onda que o som incidente.

A reflexão do som envolve os fenômenos do **eco** e da **reverberação**.

Intensidade sonora

A **intensidade sonora** especifica a quantidade de energia da onda que atravessa a unidade de área disposta perpendicularmente à sua direção de propagação, na unidade de tempo. No SI, a unidade de medida da intensidade sonora é $\frac{J}{m^2s}$ ou $\frac{W}{m^2}$.

Simbolizando por Pot a potência da fonte e por A a área da superfície esférica ($A = 4\pi x^2$), temos:

$$I = \frac{Pot}{A} = \frac{Pot}{4\pi x^2}$$

Cordas sonoras

Uma corda elástica apresenta várias frequências naturais de vibração, denominadas **modos de vibração**, que podem ser obtidos sacudindo-se uma das extremidades da corda em uma de suas frequências naturais. Dessa maneira, a corda entra em ressonância com o agente que a sacode.

Sendo N a quantidade de meios comprimentos de onda (ou ordem do harmônico), podemos, então, generalizar escrevendo a seguinte expressão para as frequências de vibração:

$$f = \frac{Nv}{2L} \quad (N = 1, 2, 3, \dots)$$

As frequências naturais de vibração da corda são dadas por:

$$f = \frac{N}{2Lr} \sqrt{\frac{F}{\mu\pi}} \quad \text{ou} \quad f = \frac{N}{DL} \sqrt{\frac{F}{\mu\pi}}$$

em que $D = 2r$ é o diâmetro da seção transversal da corda.

Supondo fixas as demais variáveis, a frequência do som fundamental emitido é inversamente proporcional ao diâmetro da corda.

Supondo fixas as demais variáveis, a frequência do som fundamental emitido é inversamente proporcional ao comprimento da corda.

Supondo fixas as demais variáveis, a frequência do som fundamental emitido é diretamente proporcional à raiz quadrada da força tensora.

Supondo fixas as demais variáveis, a frequência do som fundamental emitido é inversamente proporcional à raiz quadrada da massa específica do material de que é feita a corda.

Timbre de um som

O **timbre** de um som é a sensação característica causada pela presença de harmônicos acompanhando o som fundamental. Influem no timbre tanto a quantidade de harmônicos como suas intensidades relativas.

A **altura** (sensação que um som nos causa em virtude de sua frequência), o **timbre** (sensação que um som nos causa em virtude dos harmônicos presentes nele) e a **sonoridade** (sensação da intensidade de um som) são denominados **qualidades fisiológicas** do som.

Intervalo acústico entre dois sons

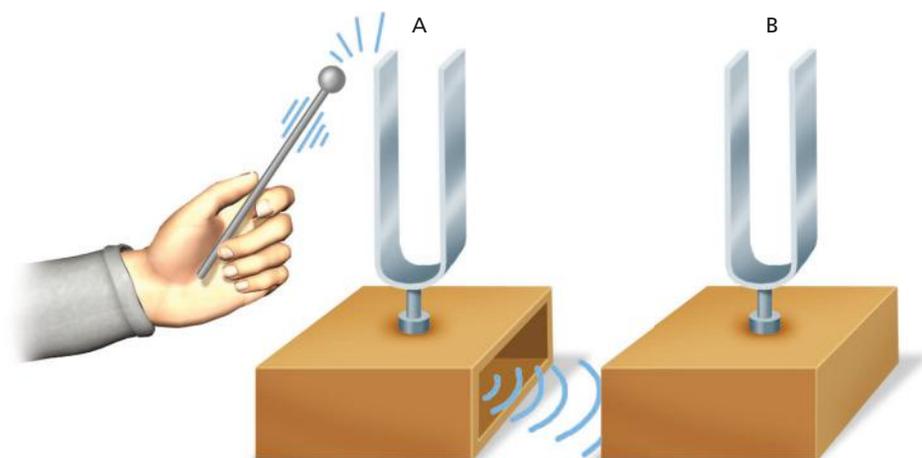
O intervalo acústico entre dois sons de frequências f_1 e f_2 é o quociente dessas frequências:

$$i = \frac{f_2}{f_1} \quad (f_2 > f_1)$$

Batimento, ressonância e difração do som

Os **batimentos** sonoros entre dois sons de frequências f_1 e f_2 próximas poderão ser percebidos apenas se a frequência desses batimentos não ultrapassar 7 Hz.

Na figura, **A** e **B** são diapasões idênticos. Batendo-se apenas no diapasão **A**, observamos que o diapasão **B** também vibra. Isso ocorre porque **B** é excitado pelas ondas sonoras provenientes de **A**, cuja frequência é igual à sua frequência de vibração natural. Esse fenômeno é a **ressonância**.



Paulo Manzi/Arquivo da editora

Ressonância

A **difração** é um fenômeno que ocorre quando os obstáculos atingidos apresentam dimensões inferiores às do comprimento de onda ou, pelo menos, da mesma ordem de grandeza.

Tubos sonoros

Uma coluna gasosa também possui suas frequências naturais de vibração (longitudinal). Assim, quando uma dessas colunas é excitada em uma ou mais de suas frequências naturais, ocorre ressonância e o som amplifica-se. Essas colunas gasosas, normalmente de ar, estão confinadas em tubos sólidos e ocios denominados **tubos sonoros**.

Em extremidade aberta, sempre existe um **ventre de deslocamento** (ou nó de pressão).

Em extremidade fechada, sempre existe um **nó de deslocamento** (ou ventre de pressão).

Para tubos abertos, generalizando para um harmônico de ordem N qualquer, obtemos:

$$f = \frac{Nv}{2L} \quad (N = 1, 2, 3, \dots)$$

Para tubos fechados, generalizando para um harmônico qualquer de ordem ímpar, temos:

$$f = \frac{Nv}{4L} \quad (N = 1, 2, 3, 5, 7, \dots)$$

Velocidade de propagação do som

Em um gás perfeito, a velocidade do som é

$$v = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}$$

em que:

v é o módulo da velocidade de propagação do som no gás, R é a constante de Clapeyron, T é a temperatura absoluta do gás, M é a massa molar do gás e $\gamma = \frac{c_p}{c_v}$.

A velocidade de propagação do som num gás perfeito não depende da pressão ou da densidade do gás. É proporcional à raiz quadrada da temperatura absoluta e inversamente proporcional à raiz quadrada de sua massa molar, dependendo também de sua estrutura molecular (atomicidade).

Efeito Doppler

Efeito Doppler é a alteração da frequência percebida por uma pessoa pelo fato de existir uma **aproximação** ou um **afastamento** entre a fonte e o observador.

A fórmula geral para a frequência Doppler (f_D), também chamada de frequência aparente, é:

$$f_D = f \frac{v \pm v_O}{v \pm v_F}$$

em que os sinais \pm podem ser obtidos pela seguinte convenção: o segmento de reta ligando o observador **O** até a fonte **F** é orientado sempre de **O** para **F**, quaisquer que sejam as posições de **O** e de **F**.

Sonoridade

A **sonoridade** ou **sensação sonora** depende da intensidade sonora, do ouvinte e da frequência do som considerado.

Para determinarmos a sonoridade, usamos a Lei de Weber-Fechner:

$$N = k \log \frac{I}{I_{ref}}$$

em que:

k é uma constante de proporcionalidade, I é a intensidade sonora de um som e N é seu nível relativo de intensidade em relação a um som de referência de intensidade I_{ref} .

Fazendo $k = 1$,

$$N = \log \frac{I}{I_{ref}} \text{ em decibel (dB)}$$

Aplique o que aprendeu

Exercício resolvido

1. (Enem) Em um piano, o Dó central e a próxima nota Dó (Dó maior) apresentam sons parecidos, mas não idênticos. É possível utilizar programas computacionais para expressar o formato dessas ondas sonoras em cada uma das situações como apresentado nas figuras, em que estão indicados intervalos de tempo idênticos (T).



A razão entre as frequências do Dó central e do Dó maior é de:

- a) $\frac{1}{2}$ b) 2 c) 1 d) $\frac{1}{4}$ e) 4

Resolução:

Quando temos uma nota musical, o Dó central, por exemplo, o próximo Dó (Dó maior) está uma oitava acima. Isto é, essa nova nota tem o dobro da frequência da nota inicial.

Assim:

$$\frac{f_{\text{Dó maior}}}{f_{\text{Dó central}}} = 2$$

Resposta: B

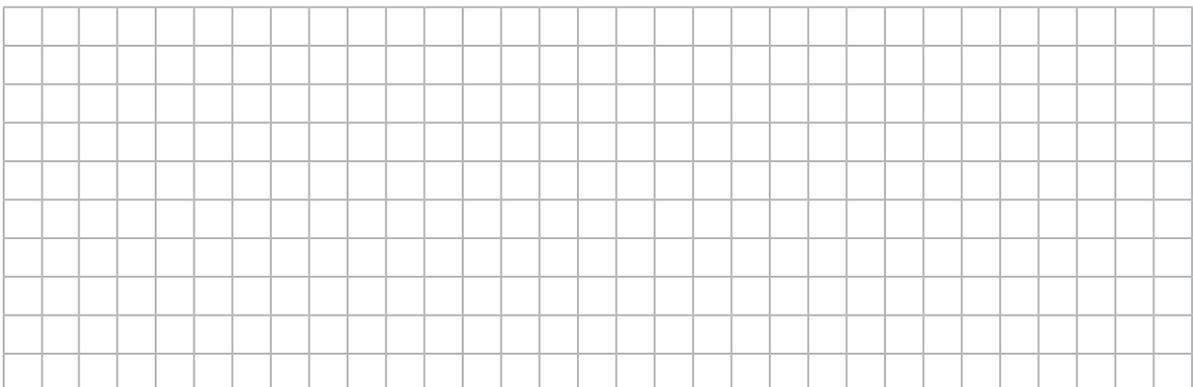
Questões

1. (Enem)

As notas musicais podem ser agrupadas de modo a formar um conjunto. Esse conjunto pode formar uma escala musical. Dentre as diversas escalas existentes, a mais difundida é a escala diatônica, que utiliza as notas denominadas dó, ré, mi, fá, sol, lá e si. Essas notas estão organizadas em ordem crescente de alturas, sendo a nota dó a mais baixa e a nota si a mais alta.

Considerando uma mesma oitava, a nota si é a que tem menor

- a) amplitude. c) velocidade. e) comprimento de onda.
b) frequência. d) intensidade.



Reveja o que aprendeu

Você deve ser capaz de:

- ▶ Definir os princípios da óptica geométrica.
- ▶ Reconhecer as propriedades da reflexão em espelhos planos e esféricos.

Luz: uma forma de energia radiante

Energia radiante é aquela que se propaga por meio de ondas eletromagnéticas. Dentro dessa concepção, podemos destacar as ondas de rádio, de TV e de radar, os raios infravermelhos, a luz, os raios ultravioleta, os raios X, os raios gama, etc.

Uma característica importantíssima da energia radiante é sua velocidade de propagação, que, no vácuo, vale aproximadamente:

$$c \cong 3,00 \cdot 10^5 \text{ km/s} = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

Luz é o agente físico que, atuando nos órgãos visuais, produz a sensação da visão.

Óptica: divisão e aplicações

Óptica Geométrica: estuda os fenômenos ópticos com enfoque nas trajetórias seguidas pela luz. Fundamenta-se na noção de raio de luz e nas leis que regulamentam seu comportamento.

Óptica Física: estuda os fenômenos ópticos que exigem uma teoria sobre a natureza constitutiva da luz.

Fontes de luz

São considerados **fontes de luz** todos os corpos dos quais se pode receber luz.

Fontes primárias: são os corpos que emitem luz própria.

Fontes secundárias: são os corpos que enviam a luz que recebem de outras fontes.

Uma fonte de luz é considerada **pontual** (ou **puntiforme**) quando suas dimensões são irrelevantes em comparação com as distâncias aos corpos iluminados por ela. Fontes de luz de dimensões não desprezíveis são denominadas **extensas**.

Meios transparentes, translúcidos e opacos

Meios transparentes são aqueles que permitem que a luz os atravesse descrevendo trajetórias regulares e bem definidas.

Meios translúcidos são aqueles em que a luz descreve trajetórias irregulares com intensa difusão (espelhamento aleatório), provocada pelas partículas desses meios.

Meios opacos são aqueles através dos quais a luz não se propaga.

Frente de luz – Raio de luz

Frente de luz é a fronteira entre a região já atingida por um pulso luminoso e a região ainda não atingida.

Raio de luz é uma linha orientada que tem origem na fonte de luz e é perpendicular às frentes de luz. Os raios de luz indicam a direção e o sentido de propagação da luz em um meio ou sistema.

Pincel de luz – Feixe de luz

Se acendermos a lanterna e espalharos fumaça na região da montagem, notaremos, à direita do anteparo, uma região cônica do espaço diretamente iluminada. Essa região, que tem pequena abertura angular em virtude do pequeno diâmetro do orifício, denomina-se **pincel de luz**.

Reunindo-se os pincéis emanados de um mesmo elemento de superfície, obtém-se uma região iluminada de abertura angular relativamente grande, que recebe o nome de **feixe de luz**.

Os pincéis de luz (e também os feixes de luz) admitem a seguinte classificação:

- **Cônicos divergentes:** os raios de luz divergem a partir de um mesmo ponto **P**.
- **Cônicos convergentes:** os raios de luz convergem para um mesmo ponto **P**.
- **Cilíndricos:** os raios de luz são paralelos entre si.

Princípio da Independência dos Raios de Luz

A propagação de um pincel de luz não é perturbada pela propagação de outros na mesma região; um independe da presença dos outros.

Quando ocorre cruzamento de raios de luz, cada um deles continua sua propagação independentemente da presença dos outros.

Princípio da Propagação Retilínea da Luz

Nos meios transparentes e homogêneos, a luz propaga-se em linha reta.

Sombra e penumbra

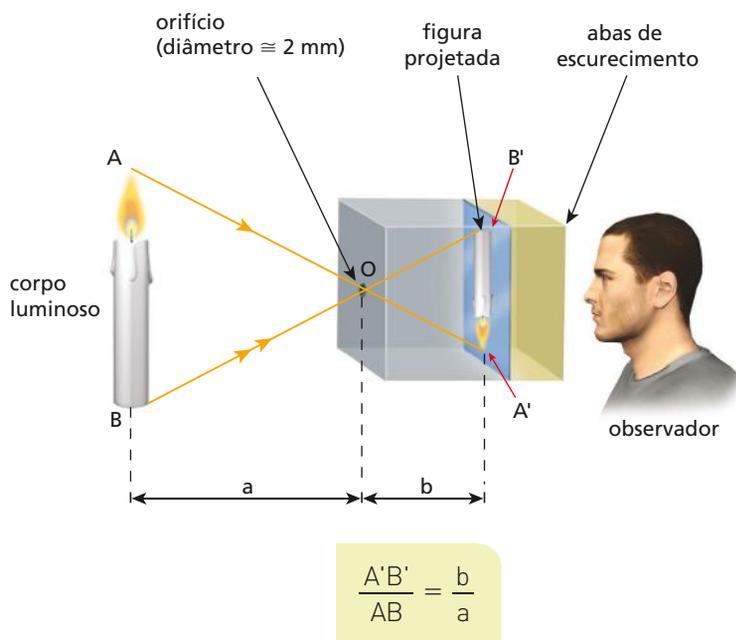
Se **F** é uma fonte luminosa puntiforme, suponha que temos um disco opaco entre a fonte e um anteparo também opaco, então teremos, na região entre o disco e o anteparo, um tronco de cone desprovido de iluminação direta da fonte. Essa região é denominada **sombra**. No anteparo, notaremos uma região circular também isenta de iluminação direta da fonte. Essa região é chamada de **sombra projetada**.

Quando a fonte de luz é extensa, além das regiões de sombra e de sombra projetada, teremos ainda regiões de **penumbra** e de **penumbra projetada**.

Câmara escura de orifício

Câmara escura de orifício é uma caixa de paredes opacas, sendo uma delas dotada de um orifício **O**, diante do qual é colocado um corpo luminoso. Os raios emanados desse corpo, após atravessarem **O**, incidem na parede do fundo da caixa, lá projetando

uma figura semelhante ao corpo considerado, em forma e em colorido. Tal figura, no entanto, apresenta-se invertida em relação ao corpo.



Paulo Manzi/Arquivo da editora

Fenômenos físicos fundamentais na óptica geométrica

Reflexão é o fenômeno que consiste no fato de a luz voltar a se propagar no meio de origem, após incidir na superfície de separação deste com outro meio.

Refração é o fenômeno que consiste no fato de a luz passar de um meio para outro diferente.

Reflexão e refração seletivas

Quando iluminadas pela luz solar, as folhas de uma árvore nos parecem verdes, por quê?

Porque essas folhas “selecionam” no espectro solar principalmente a cor componente verde, refletindo-a de modo difuso para o meio. Ao receber luz verde em nossos olhos, enxergamos as folhas em verde.

Cumpra observar que as demais cores componentes da luz branca são predominantemente absorvidas pelas folhas.

Ponto objeto e ponto imagem

Relativamente a determinado sistema óptico, chama-se **ponto objeto** o vértice do pincel luminoso incidente.

- **ponto objeto real (POR)** é o vértice de um pincel incidente divergente, sendo formado pelo cruzamento efetivo dos raios de luz.
- **ponto objeto virtual (POV)** é o vértice de um pincel incidente convergente, sendo formado pelo cruzamento dos prolongamentos dos raios de luz.
- **ponto objeto impróprio (POI)** é o vértice de um pincel incidente cilíndrico, estando situado no infinito.

Relativamente a determinado sistema óptico, chama-se **ponto imagem** o vértice do pincel luminoso emergente.

- **ponto imagem real** (PIR) é o vértice de um pincel emergente convergente, sendo formado pelo cruzamento efetivo dos raios de luz.
- **ponto imagem virtual** (PIV) é o vértice de um pincel emergente divergente, sendo formado pelo cruzamento dos prolongamentos dos raios de luz.
- **ponto imagem impróprio** (PII) é o vértice de um pincel emergente cilíndrico, estando situado no infinito.

Sistemas ópticos estigmáticos, aplanéticos e ortoscópicos

Um sistema óptico é **estigmático** quando a um ponto objeto conjuga um e somente um ponto imagem.

Um sistema óptico é **aplanético** quando a um objeto plano e frontal conjuga uma imagem também plana e frontal.

Um sistema óptico é **ortoscópico** quando a um objeto conjuga uma imagem geometricamente semelhante.

Reversibilidade na propagação da luz

Em idênticas condições, a trajetória seguida pela luz independe do sentido de propagação.

Reflexão: conceito, elementos e leis

Reflexão é o fenômeno que consiste no fato de a luz voltar a se propagar no meio de origem, após incidir na superfície de separação desse meio com outro.

1ª Lei da Reflexão

O raio refletido pertence ao plano de incidência, ou seja, o raio refletido, a reta normal no ponto de incidência e o raio incidente são **coplanares**.

2ª Lei da Reflexão

O ângulo de reflexão é sempre **igual** ao ângulo de incidência.

O espelho plano

Chama-se **espelho plano** qualquer superfície plana, polida e com alto poder refletor.

Construção gráfica de imagens nos espelhos planos

Nos espelhos planos, o objeto e a respectiva imagem têm sempre **naturezas opostas**, isto é, se o primeiro for real, o outro será virtual e vice-versa.

Propriedade Fundamental dos Espelhos Planos: a simetria

Nos espelhos planos, a imagem é sempre **simétrica** do objeto em relação ao espelho.

Imagem e objeto não superponíveis

É importante observar que, devido à simetria, a imagem de um objeto extenso fornecida por um espelho plano, embora idêntica a ele, não lhe é, em geral, superponível.

Campo de um espelho plano

Chama-se **campo de um espelho plano**, para determinado observador, a região do espaço que pode ser contemplada por ele pela reflexão da luz no espelho.

Translação de um espelho plano

Quando um espelho plano é transladado paralelamente a si mesmo, a imagem de um objeto fixo sofre translação no mesmo sentido, com o dobro do comprimento em relação à do espelho.

Rotação de um espelho plano

Quando um espelho plano sofre uma rotação de um ângulo α em torno de um eixo normal ao plano de incidência de um raio de luz proveniente de uma fonte fixa, o raio refletido correspondente sofre uma rotação, no mesmo sentido, de um ângulo que equivale ao dobro de α .

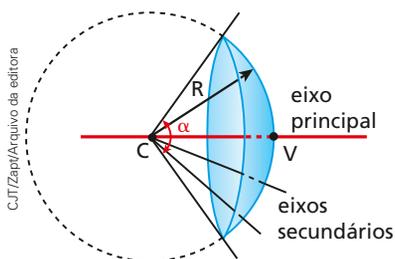
Imagens múltiplas em dois espelhos planos associados

O número n de imagens fornecidas pela associação de espelhos fica determinado pela expressão empírica:

$$n = \frac{360^\circ}{\alpha} - 1$$

Classificação e elementos geométricos dos espelhos esféricos

Chama-se **espelho esférico** qualquer calota esférica polida e com alto poder refletor.



- O centro **C** da esfera que originou a calota é chamado de **centro de curvatura** do espelho.
- O polo **V** da calota é chamado de **vértice** do espelho.
- A reta que passa por **C** e **V** é chamada de **eixo principal** do espelho.
- Todas as demais retas que contêm o centro **C** são chamadas de **eixos secundários**.

- O ângulo α , que tem o vértice no centro **C** e os lados passando por pontos diametralmente opostos da calota, é chamado de **abertura** do espelho.
- O raio R da esfera que originou a calota é denominado **raio de curvatura** do espelho.
- Qualquer plano perpendicular ao eixo principal é denominado **plano frontal**.

Espelhos esféricos gaussianos

Entende-se por espelhos esféricos gaussianos aqueles em que os raios luminosos envolvidos são pouco inclinados e pouco afastados em relação ao eixo principal. Por raios luminosos “pouco afastados” em relação ao eixo principal entendemos aqueles cuja distância do ponto de incidência ao referido eixo é pequena em comparação com o raio de curvatura do espelho.

Focos dos espelhos esféricos

O **foco** de um sistema óptico qualquer é um ponto que tem por conjugado um ponto impróprio (“situado no infinito”).

Nos espelhos esféricos gaussianos, o **foco principal** é aproximadamente equidistante do centro de curvatura e do vértice:

$$f \cong \frac{R}{2}$$

Raios luminosos particulares

1º raio particular

Todo raio luminoso que incide no espelho alinhado com o centro de curvatura se reflete sobre si mesmo.

2º raio particular

Todo raio luminoso que incide no vértice do espelho gera, relativamente ao eixo principal, um raio refletido simétrico.

3º raio particular

Todo raio luminoso que incide paralelamente ao eixo principal se reflete alinhado com o foco principal.

Considerando a reversibilidade dos raios de luz, podemos enunciar também:

Todo raio luminoso que incide alinhado com o foco principal se reflete paralelamente ao eixo principal.

Construção gráfica das imagens nos espelhos esféricos

A um objeto real, um espelho esférico convexo conjuga uma imagem sempre virtual, direita e menor, compreendida entre o foco principal e o vértice, independentemente da distância do objeto à superfície refletora.

1ª) Objeto além do centro de curvatura

Características da imagem:

- real: formada pelo cruzamento efetivo dos raios refletidos;
- invertida: “de cabeça para baixo” em relação ao objeto;
- menor: o “tamanho” da imagem é menor que o do objeto.

2ª) Objeto no plano frontal, que contém o centro de curvatura

Características da imagem:

- real;
- invertida;
- do mesmo tamanho que o objeto.

3ª) Objeto entre o centro de curvatura e o foco

Características da imagem:

- real;
- invertida;
- maior: o “tamanho” da imagem é maior que o do objeto.

4ª) Objeto no plano focal

Nesse caso, como os raios luminosos emergentes do sistema são paralelos entre si, a imagem “forma-se no infinito”, sendo, portanto, **imprópria**.

5ª) Objeto entre o foco e o vértice

Características da imagem:

- virtual;
- direita;
- maior.

Referencial gaussiano

O **referencial gaussiano** é um sistema cartesiano constituído de dois eixos orientados perpendicularmente entre si, Ox e Oy , com origem no vértice V do espelho.

Do referencial gaussiano, decorre o seguinte:

Elementos reais (objetos ou imagens situados na frente do espelho): **abscissa positiva**.

Elementos virtuais (objetos ou imagens situados atrás do espelho): **abscissa negativa**.

Função dos pontos conjugados (Equação de Gauss)

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

Aumento linear transversal

Por definição, o **aumento linear transversal** é a grandeza adimensional A , calculada pelo quociente da ordenada da imagem (i) pela ordenada do objeto (o):

$$A = \frac{i}{o}$$

Aplique o que aprendeu

Exercício resolvido

1. A ciência pode salvar sua vida!

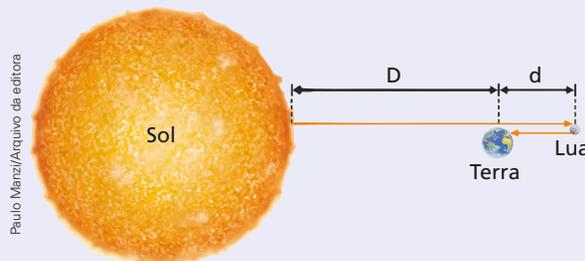
Considere que as distâncias do Sol à Terra e da Terra à Lua valem 150 milhões de quilômetros e 384 mil quilômetros, respectivamente. Adotando-se para a intensidade da velocidade da luz o valor $c = 3,0 \cdot 10^8$ m/s, aponte a alternativa que traz o valor mais próximo do intervalo de tempo para o trânsito de um pulso luminoso emanado do sol que se reflete na Lua na fase de lua cheia e atinge a face noturna da terra:

- a) 8,0 min + 18,7 s
- b) 8,0 min + 20,0 s
- c) 8,0 min + 21,3 s
- d) 8,0 min + 22,3 s
- e) O intervalo de tempo citado é praticamente nulo.

Resolução:

O pulso luminoso emitido pelo Sol reflete-se na lua e atinge a Terra, permitindo a visualização desse satélite, fonte secundária de luz, que não emite luz própria.

Veja o esquema simplificado e fora da escala abaixo:



- I. Cálculo do intervalo de tempo Δt_1 gasto pela luz para percorrer a distância $D = 150 \cdot 10^6$ km entre o Sol e a Terra.

Sendo $c = 3,0 \cdot 10^5$ km/s, vem:

$$c = \frac{D}{\Delta t_1} \Rightarrow \Delta t_1 = \frac{D}{c} \Rightarrow \Delta t_1 = \frac{150 \cdot 10^6}{3,0 \cdot 10^5} \text{ (s)}$$

Da qual:

$$\Delta t_1 = 500 \text{ s} = 8,0 \text{ min} + 20,0 \text{ s}$$

- II. Cálculo do intervalo de tempo Δt_2 gasto pela luz para percorrer a distância $2d = 2 \cdot 384 \cdot 10^3$ km = $768 \cdot 10^3$ km, corresponde ao trânsito Terra-Lua-Terra.

$$c = \frac{2d}{\Delta t_2} \Rightarrow \Delta t_2 = \frac{2d}{c} \Rightarrow \Delta t_2 = \frac{768 \cdot 10^3}{3,0 \cdot 10^5} \text{ (s)}$$

De onde se obtém:

$$\Delta t_2 = 2,56 \text{ s} \cong 2,6 \text{ s}$$

- III. Sendo T o intervalo de tempo total, segue que:

$$T = \Delta t_1 + \Delta t_2 \Rightarrow T = 8,0 \text{ min} + 20,0 \text{ s} + 2,6 \text{ s}$$

$$\text{Logo: } T = 8,0 \text{ min} + 22,6 \text{ s}$$

Resposta: D



O CONHECIMENTO SALVA VIDAS!

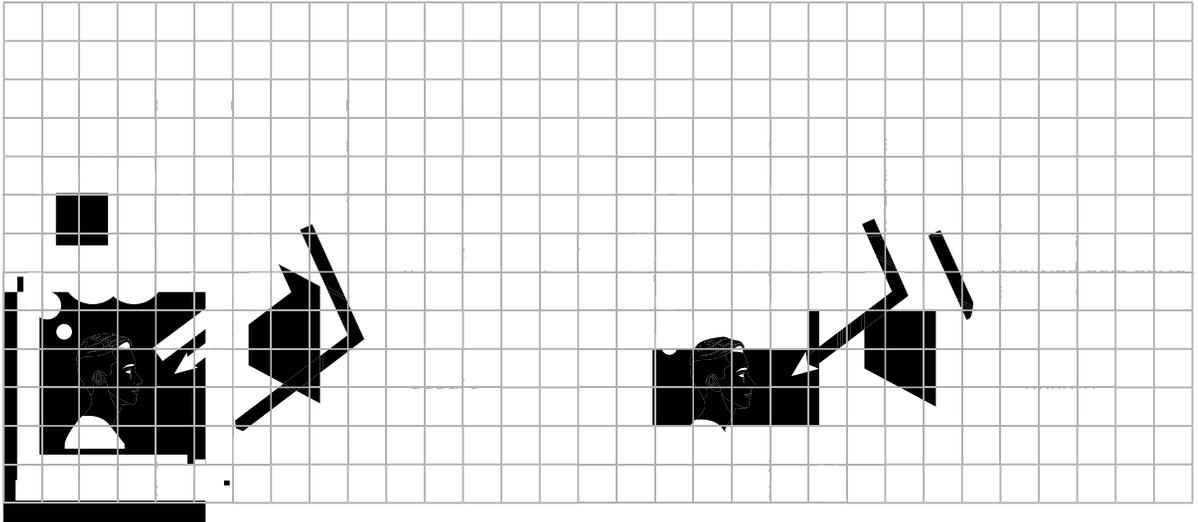
Martin Perscheid/Arquivo do cartunista

PEREIRA

6. (Unicamp-SP)

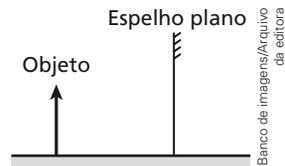
O Teatro de Luz Negra, típico da República Tcheca, é um tipo de representação cênica caracterizada pelo uso do cenário escuro com uma iluminação estratégica dos objetos exibidos. No entanto, o termo Luz Negra é fisicamente incoerente, pois a coloração negra é justamente a ausência de luz. A luz branca é a composição de luz com vários comprimentos de onda e a cor de um corpo é dada pelo comprimento de onda da luz que ele predominantemente reflete. Assim, um quadro que apresente as cores azul e branca quando iluminado pela luz solar, ao ser iluminado por uma luz monocromática de comprimento de onda correspondente à cor amarela, apresentará, respectivamente, uma coloração

- a) amarela e branca. b) negra e amarela. c) azul e negra. d) totalmente negra.



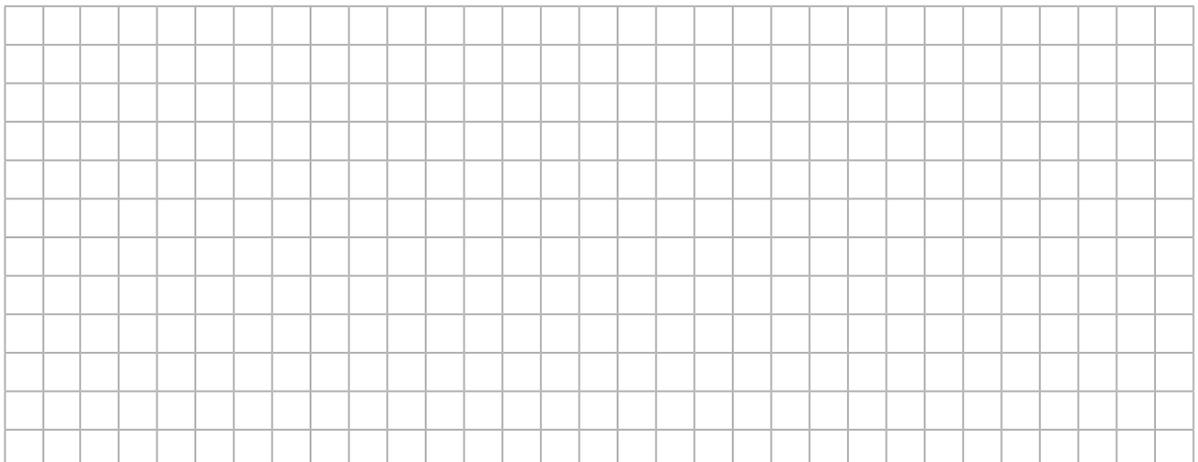
7. (Vunesp-FMJ-SP)

Sobre uma superfície plana e perpendicular a um espelho plano vertical é colocado um objeto.



Ao se afastar o objeto da face refletora do espelho 5,0 metros, a distância entre ele e sua imagem irá variar de

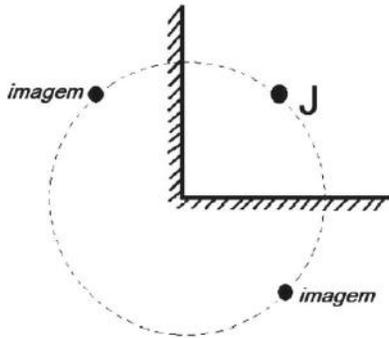
- a) 2,5 mm b) 5,0 mm c) 7,5 mm d) 10,0 mm e) 20,0 mm



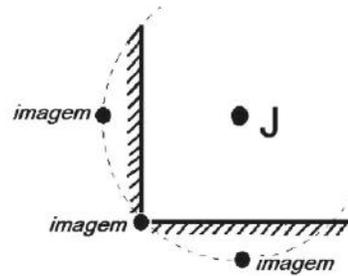
8. (UFU-MG)

João, representado pela letra J, entra em uma sala retangular, onde duas paredes são revestidas por espelhos planos. Ele se posiciona na bissetriz do ângulo reto formado entre os dois espelhos. Como se configuram o conjunto das imagens de João em relação aos espelhos e sua posição na sala?

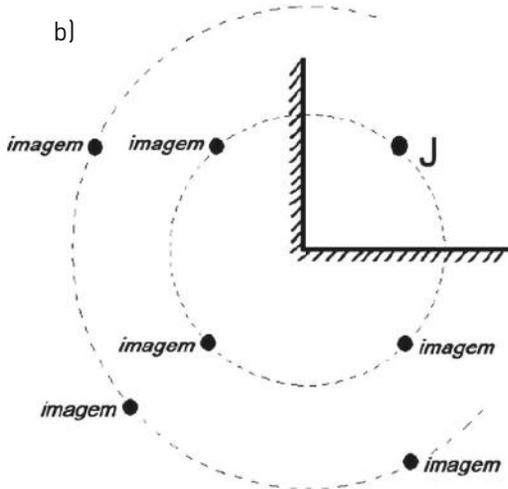
a)



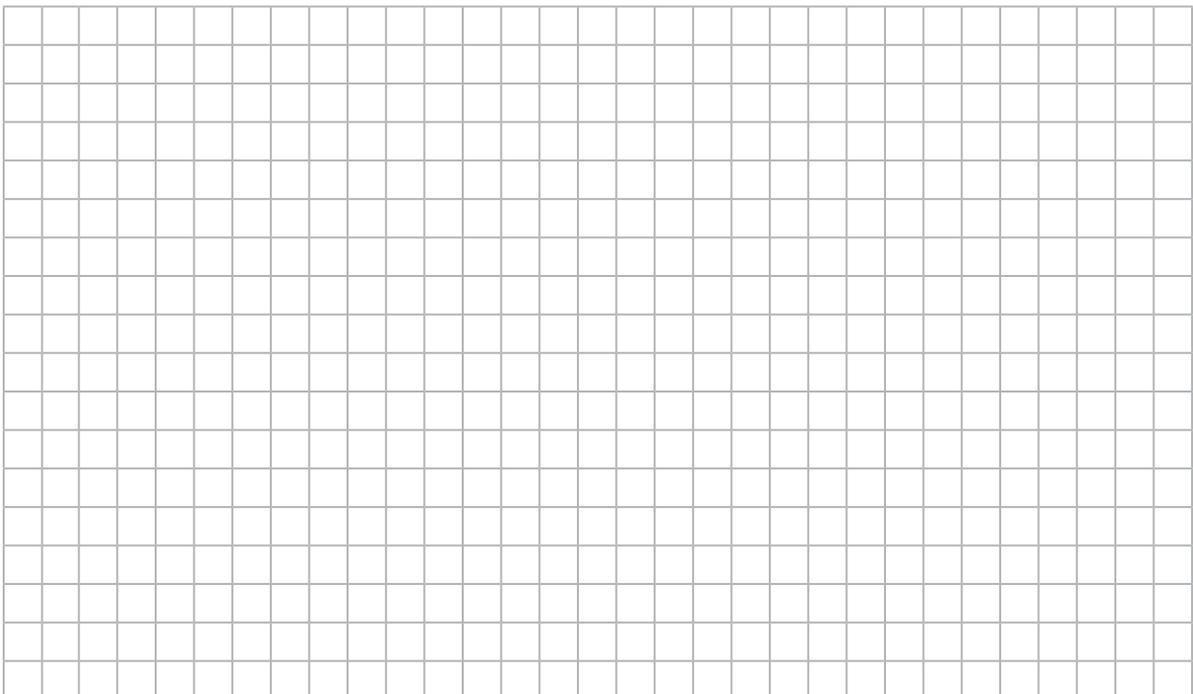
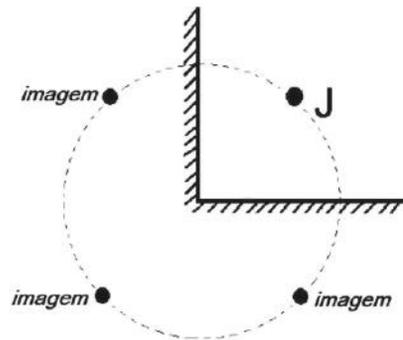
c)



b)

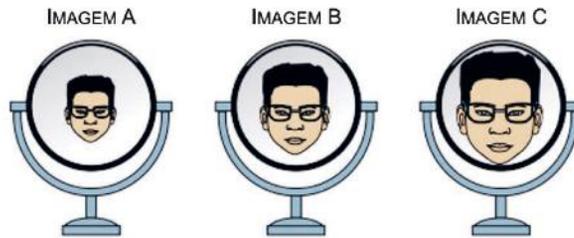


d)



9. (Unesp-SP)

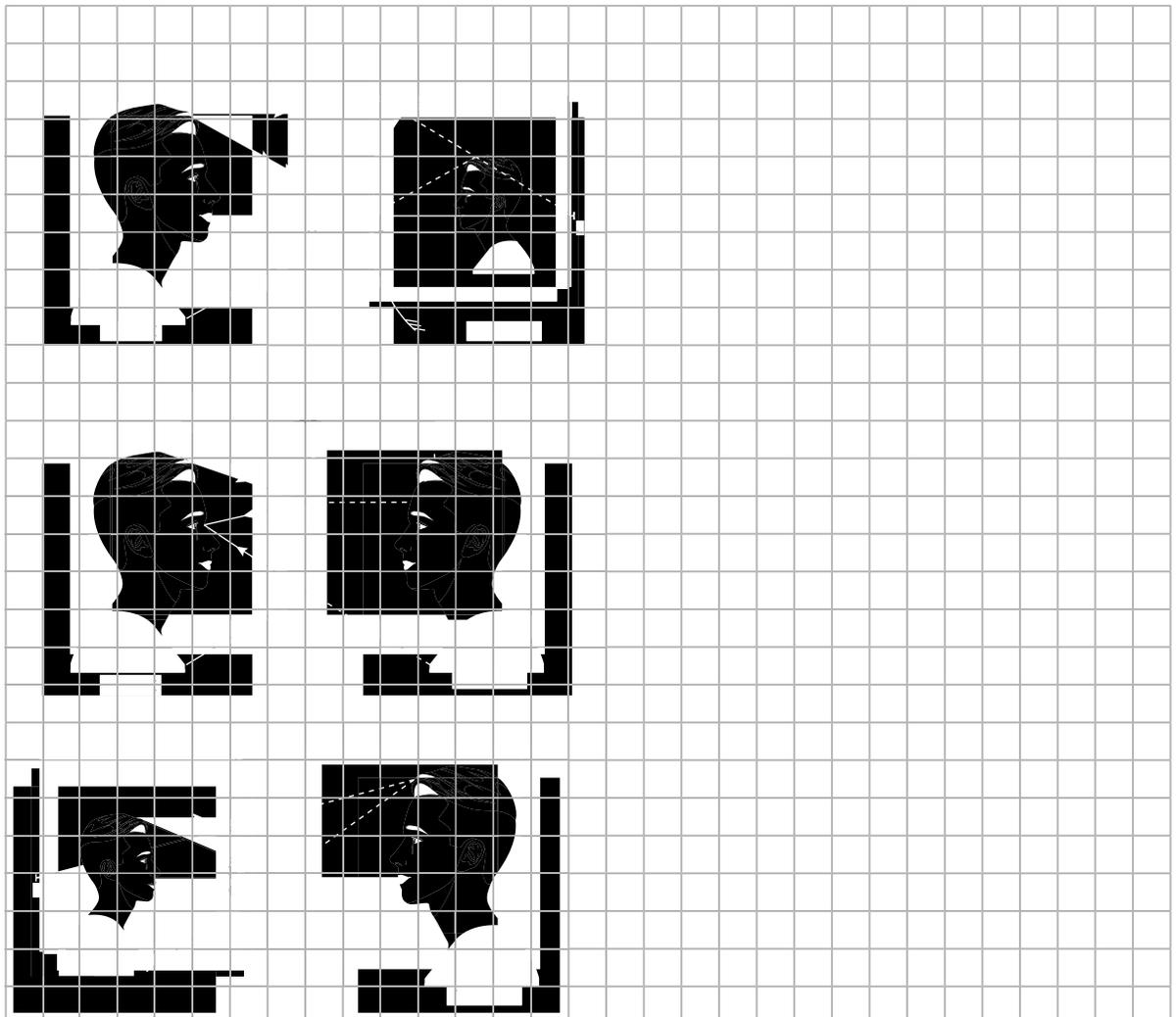
Quando entrou em uma ótica para comprar novos óculos, um rapaz deparou-se com três espelhos sobre o balcão: um plano, um esférico côncavo e um esférico convexo, todos capazes de formar imagens nítidas de objetos reais colocados à sua frente. Notou ainda que, ao se posicionar sempre a mesma distância desses espelhos, via três diferentes imagens de seu rosto, representadas na figura abaixo.



Reprodução/Unesp, 2015

Em seguida, associou cada imagem vista por ele a um tipo de espelho e classificou-as quanto às suas naturezas. Uma associação correta feita pelo rapaz está indicada na alternativa:

- a) o espelho A é o côncavo e a imagem conjugada por ele é real.
- b) o espelho B é o plano e a imagem conjugada por ele é real.
- c) o espelho C é o côncavo e a imagem conjugada por ele é virtual.
- d) o espelho A é o plano e a imagem conjugada por ele é virtual.
- e) o espelho C é o convexo e a imagem conjugada por ele é virtual.



Reveja o que aprendeu

Você deve ser capaz de:

- Conceituar as propriedades dos fenômenos de refração da luz.

Conceitos iniciais

Já foi visto anteriormente que:

$$f = \frac{1}{T}$$

$$v = \lambda f$$

Luz monocromática e luz policromática

Uma luz é denominada **monocromática** quando é constituída de ondas eletromagnéticas de uma única frequência, ou seja, de uma única cor. Assim, podemos ter luz monocromática vermelha, azul e violeta, dentre outras.

Cor e velocidade da luz

Quando a luz se propaga no vácuo, a velocidade de propagação é exatamente a mesma, qualquer que seja a cor, isto é, qualquer que seja a sua frequência. Assim, a luz amarela, a luz vermelha, a luz violeta, dentre outras, propagam-se no vácuo com a mesma velocidade, cujo valor simbolizamos por c :

$$c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ km/s} \quad (\text{valor aproximado})$$

Índice de refração

Por definição, o **índice de refração absoluto** (densidade óptica ou, simplesmente, índice de refração) de um determinado meio para a radiação monocromática considerada é a grandeza adimensional n , definida por:

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

No vácuo: $n = 1$

Nos meios materiais: $n > 1$

Índice de refração relativo

$$n = \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2}$$

Refringência e dioptro

Dizemos que um meio é mais **refringente** que outro quando seu índice de refração é maior que o do outro.

Dioptro é um sistema constituído por dois meios transparentes de diferentes refringências que fazem entre si fronteira regular.

Refração

Refração da luz é a passagem da luz de um meio para outro, com mudança na intensidade da velocidade de propagação e, conseqüentemente, do comprimento de onda.

1ª Lei da Refração

O raio incidente, o raio refratado e a reta normal traçada pelo ponto de incidência estão contidos no mesmo plano.

2ª Lei da Refração (Lei de Snell)

A razão entre o seno do ângulo de incidência e o seno do ângulo de refração é constante para cada dioptro e para cada luz monocromática.

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

Análise do desvio do raio incidente

Da expressão completa da Lei de Snell, podemos extrair a seguinte igualdade:

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

Quando um raio de luz incide obliquamente na fronteira de um dioptro, dirigindo-se do meio menos refringente para o mais refringente, ele **se aproxima da normal** ao refratar-se, experimentando um desvio δ ($\delta = \theta_1 - \theta_2$).

Quando um raio de luz incide obliquamente na fronteira de um dioptro e passa do meio mais refringente para o menos refringente, ele **se afasta da normal** ao refratar-se, experimentando um desvio δ ($\delta = \theta_2 - \theta_1$).

Quando um raio de luz incide normalmente à fronteira do dioptro, a refração ocorre **sem desvio**.

Ângulo-limite e reflexão total

Quando o ângulo de incidência tende a um valor L , denominado **ângulo-limite**, o ângulo de refração tende a 90° , mas a quantidade de luz refratada tende a zero. Atingido esse ângulo-limite, não mais ocorre refração e a luz incidente é totalmente refletida.

Esse fenômeno é denominado **reflexão total**.

Calcula-se o ângulo-limite por:

$$\sin L = \frac{n_2}{n_1} = \frac{n_{\text{menor}}}{n_{\text{maior}}}$$

A reflexão total só pode ocorrer se forem satisfeitas as seguintes condições:

- A luz deve dirigir-se do meio mais refringente para o meio menos refringente.
- O ângulo de incidência deve ser igual ou superior ao ângulo-limite do dióptro.

Dispersão da luz

Dispersão de uma luz policromática é a sua decomposição nas diversas luzes monocromáticas que a constituem.

Na **dispersão da luz**, a luz monocromática de maior frequência sempre sofre o maior desvio.

Dióptro plano

Dióptro plano é um sistema constituído de dois meios transparentes de diferentes refringências, que fazem fronteira plana.

Observando que n_2 é o índice de refração do meio onde o raio de luz se origina e que n_1 é o índice de refração do meio para o qual o raio se destina, podemos escrever a Equação do Dióptro Plano:

$$\frac{p'}{p} = \frac{n_{\text{destino}}}{n_{\text{origem}}}$$

Lâmina de faces paralelas

Em uma lâmina de faces paralelas feita de um material transparente e homogêneo envolta por um mesmo meio, o raio luminoso emergente é **paralelo** ao raio luminoso incidente.

O deslocamento lateral d é calculado por

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

Prisma óptico

O desvio total δ no prisma óptico é a soma dos desvios ocorridos em cada refração:

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

Concluimos, então, que o desvio total δ é o resultado da seguinte expressão:

$$\text{ângulo de incidência} + \text{ângulo de emergência} - \text{ângulo de abertura}$$

Na ocorrência de desvio mínimo,

$$\theta_1 = \theta_1' \text{ e } \theta_2 = \theta_2'$$

Aplique o que aprendeu

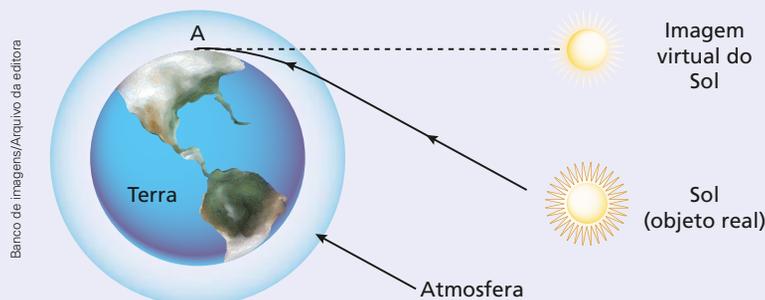
Exercícios resolvidos

1. (Uece) A luz do Sol inclina-se na direção da superfície da Terra à medida que penetra na atmosfera. Como consequência, ainda podemos ver o Sol, mesmo depois que esse já está abaixo da linha do horizonte, ao entardecer. Esse fenômeno dá-se devido à
- a) atração da gravidade da Terra.
 - b) variação do índice de refração do ar com a altitude.
 - c) dispersão da luz na atmosfera.
 - d) difração da luz ao penetrar a atmosfera.

Resolução:

O ar atmosférico é um meio heterogêneo e a luz proveniente de astros sofre sucessivas refrações através desse meio até atingir o solo terrestre. Via de regra, quanto mais próxima da superfície do planeta é a camada atmosférica (mais baixa), maior é seu índice de refração.

Na figura a seguir, fora da escala, representa-se o caminho de um raio luminoso vindo do Sol (Sol poente) até sua recepção por um observador situado no ponto **A** da Terra.



Devido à curva que a luz faz ao percorrer a atmosfera, o que é dado a um observador contemplar do ponto **A** é uma imagem virtual do Sol numa posição aparente diferente da posição real do astro.

Resposta: B

2. (Unitau-SP) O arco-íris é dos belos fenômenos da natureza cuja explicação é dada a partir do modelo ondulatório da luz. A luz branca, que se propaga no ar, contém todas as frequências do espectro visível se propagando a uma mesma velocidade. Quando essa luz interage com gotículas de água em suspensão na atmosfera, ocorre a formação do arco-íris. Sobre esse fenômeno, é totalmente CORRETO afirmar que
- a) a separação das ondas luminosas com diferentes frequências se deve à variação das frequências dessas ondas nas gotículas de água.
 - b) a separação das ondas luminosas com diferentes frequências se deve à variação de temperatura nas gotículas de água.
 - c) a separação das ondas luminosas com diferentes frequências se deve à forma das gotículas de água.
 - d) a separação das ondas luminosas com diferentes frequências se deve à presença de impurezas nas gotículas de água.
 - e) a separação das ondas luminosas com diferentes frequências se deve à variação de velocidade dessas ondas nas gotículas de água.

Resolução:

Cada cor (frequência) componente da luz branca (vermelha, alaranjada, amarela, verde, azul, anil e violeta) segue um caminho distinto na refração do ar para o interior das gotículas de água em suspensão na atmosfera.

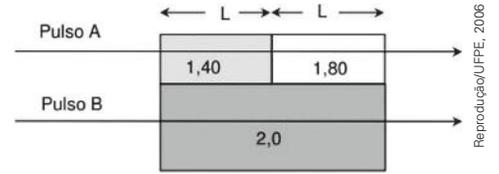
A esse fenômeno dá-se o nome de **dispersão** da luz branca.

Isso ocorre porque, para cada cor, a água representa um índice de refração absoluto distinto, o que impõe a cada frequência uma velocidade de propagação diferente na propagação através do meio líquido.

Resposta: E

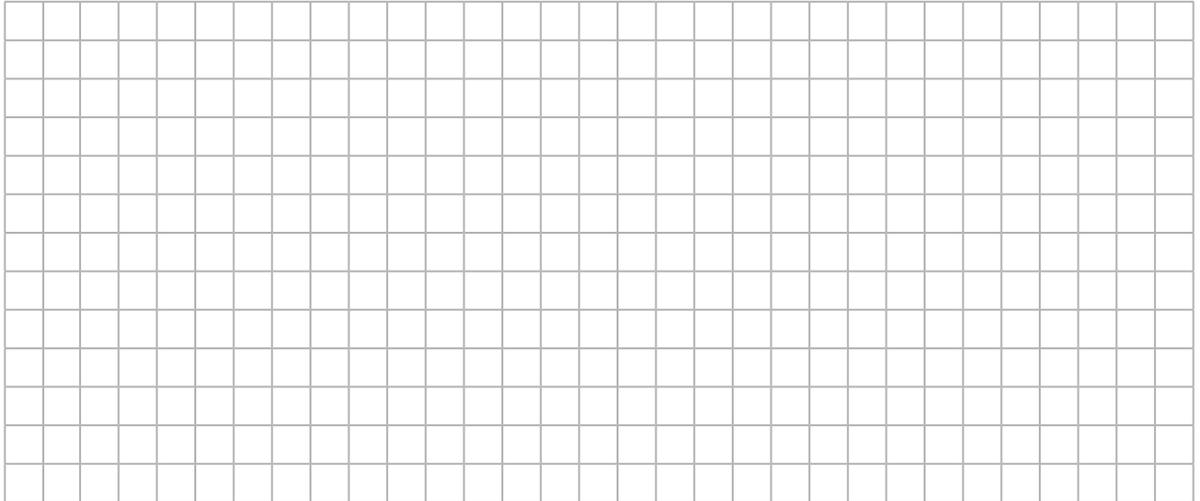
3. (UFPE)

Um dispositivo composto por três blocos de vidro com índices de refração 1,40, 1,80 e 2,00 é mostrado na figura. Calcule a razão $\frac{t_A}{t_B}$ entre os tempos que dois pulsos de luz ("flashes") levam para atravessar este dispositivo.



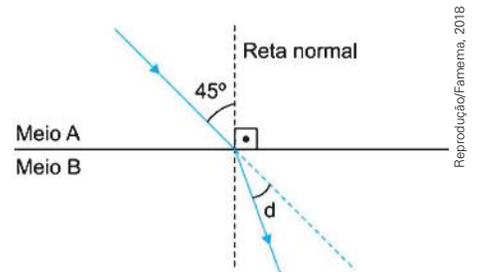
Reprodução/UFPE, 2006

- a) 0,8 b) 1,0 c) 1,3 d) 1,5 e) 1,6



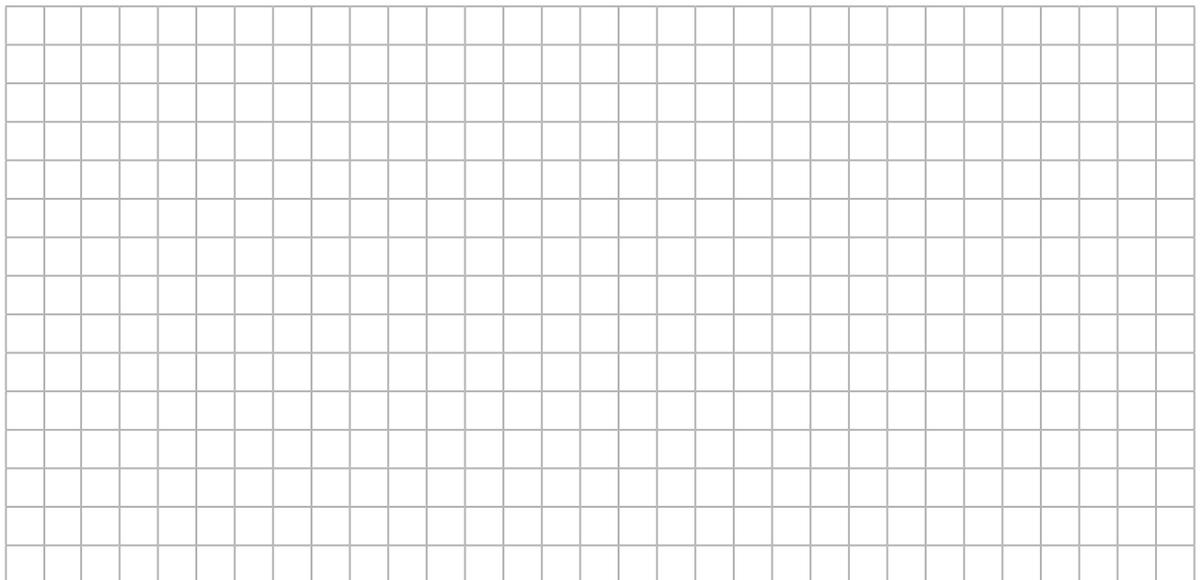
4. (Famema-SP)

Um raio de luz monocromático propaga-se por um meio **A**, que apresenta índice de refração absoluto $n_A = 1$, e passa para outro meio **B**, de índice de refração $n_B = \sqrt{2}$, conforme figura. Considere que o raio incidente forma com a normal à superfície o ângulo de 45° . Nessas condições, o ângulo de desvio (d), indicado na figura, é igual a



Reprodução/famema, 2018

- a) 60° . c) 45° . e) 90° .
b) 30° . d) 15° .



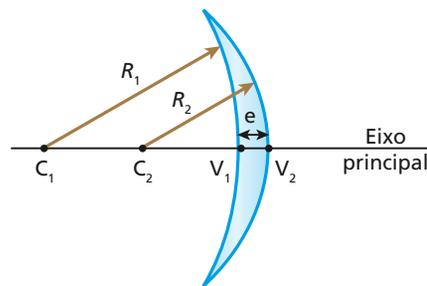
Reveja o que aprendeu

Você deve ser capaz de:

- ▶ Reconhecer os elementos de lentes esféricas.
- ▶ Identificar as propriedades da reflexão em instrumentos ópticos.

Elementos das lentes esféricas

Chama-se **lente esférica** a associação de dois dioptros: um necessariamente esférico e outro plano ou esférico.



CJT/Zapp/Arquivo da editora

- C_1 e C_2 são os centros de curvatura das faces da lente.
- R_1 e R_2 são os raios de curvatura das faces da lente.
- A reta $\overline{C_1C_2}$ é o eixo principal (ou eixo óptico) da lente. Esse eixo é normal às faces da lente.
- O segmento $\overline{V_1V_2}$ determina a espessura e da lente.

Comportamento óptico das lentes esféricas

Se a lente é mais refringente que o meio externo, temos:

bordas finas – convergentes; **bordas grossas** – divergentes.

Esse é o caso mais comum.

Se a lente é menos refringente que o meio externo, temos:

bordas finas – divergentes; **bordas grossas** – convergentes.

Esse é o caso menos comum.

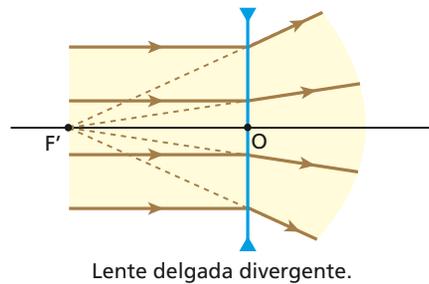
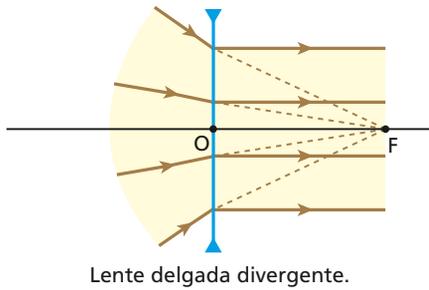
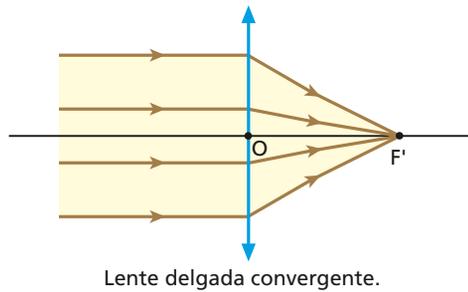
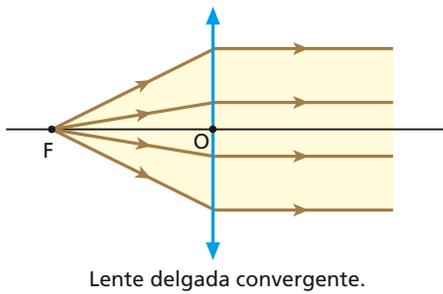
Centro óptico

O **centro óptico** de uma lente esférica é o ponto do eixo principal por onde passa um raio luminoso que não sofre desvio angular.

Um raio luminoso que passa pelo centro óptico de uma lente esférica delgada não sofre desvio angular nem deslocamento lateral considerável.

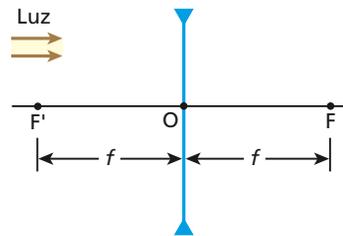
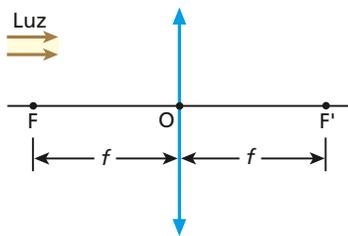
Focos e pontos antiprincipais

Cada lente tem dois focos principais: o foco principal objeto (**F**) e o foco principal imagem (**F'**).



CJZapy/Arquivo da editora

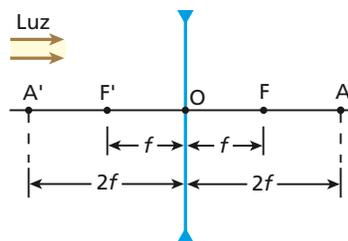
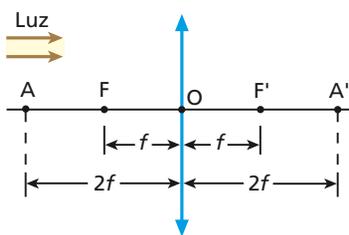
Os comprimentos de \overline{FO} ou de \overline{FO} são denominados **distância focal f** , que é uma característica fundamental das lentes.



Luciano da S. Teixeira/Arquivo da editora

Os pontos do eixo principal de uma lente cuja distância em relação ao centro óptico vale $2f$ são chamados de **pontos antiprincipais**:

- ponto **A** = ponto antiprincipal objeto
- ponto **A'** = ponto antiprincipal imagem



Luciano da S. Teixeira/Arquivo da editora

Raios luminosos particulares

1º raio particular

Todo raio luminoso que incide no centro óptico se refrata diretamente, sem sofrer desvio.

2º raio particular

Todo raio luminoso que incide paralelamente ao eixo principal se refrata alinhado com o foco principal imagem **F'**.

Levando em conta a reversibilidade no trajeto dos raios de luz, podemos enunciar também que:

Todo raio luminoso que incide alinhado com o foco principal objeto **F** se refrata paralelamente ao eixo principal.

3º raio particular

Todo raio luminoso que incide alinhado com o ponto antiprincipal objeto (**A**) se refrata alinhado com o ponto antiprincipal imagem (**A'**).

Construção gráfica das imagens em lentes esféricas

Lente divergente e objeto real.

Características da imagem: virtual, direita e menor.

Lente convergente e objeto real.

1. Objeto além do ponto antiprincipal objeto

Características da imagem: real, invertida e menor.

2. Objeto no ponto antiprincipal objeto

Características da imagem: real, invertida e do mesmo tamanho que o objeto.

3. Objeto entre o ponto antiprincipal objeto e o foco principal objeto

Características da imagem: real, invertida e maior.

4. Objeto no foco principal objeto

Características da imagem: imprópria.

5. Objeto entre o foco principal objeto e o centro óptico

Características da imagem: virtual, direita e maior.

Referencial gaussiano

Do referencial gaussiano para as lentes esféricas, depreende-se que:

Objetos e imagens **reais**: abscissa **positiva**.

Objetos e imagens **virtuais**: abscissa **negativa**.

Imagem **direita**: objeto e imagem com ordenadas de **mesmo sinal**.

Imagem **invertida**: objeto e imagem com ordenadas de **sinais contrários**.

Função dos pontos conjugados (Equação de Gauss)

No caso das lentes esféricas, as abscissas f , p e p' relacionam-se matematicamente segundo a mesma função deduzida para os espelhos esféricos.

Trata-se da **função dos pontos conjugados** também conhecida como **Equação de Gauss**:

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

Aumento linear transversal

Define-se aumento linear transversal como a grandeza adimensional dada pela relação entre a ordenada da imagem (i) e a ordenada do objeto (o), ambas expressas em relação ao referencial gaussiano.

$$A = \frac{i}{o} = -\frac{p'}{p}$$

É importante recapitular duas situações importantes referentes ao aumento linear transversal:

1ª situação: Aumento positivo

Se $A > 0$, devemos ter:

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

2ª situação: Aumento negativo

Se $A < 0$, devemos ter:

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

Vergência ("grau") de uma lente

A **vergência** V , que é definida como o inverso da abscissa focal f , é dada por:

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

Nas lentes convergentes (focos reais): $f > 0$ e $V > 0$.

Nas lentes divergentes (focos virtuais): $f < 0$ e $V < 0$.

Equação dos Fabricantes de Lentes

Representando por $n_{L,m}$ o índice de refração da lente em relação ao meio externo e por R_1 e R_2 os raios de curvatura de suas faces, tem-se:

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

A equação do diopetro esférico é

$$\frac{n_1}{p} + \frac{n_2}{p'} = \frac{n_2 - n_1}{R}$$

Associação de lentes – Teorema das Vergências

Para n lentes que constituem uma **associação delgada** (espessura desprezível) por justaposição, podemos escrever que:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} + \dots + \frac{1}{f_n} \quad \text{ou} \quad V = V_1 + V_2 + \dots + V_n$$

Aplice o que aprendeu

Exercício resolvido

1. [AFA-SP] Considere uma lente esférica delgada, **S**, de bordas finas, feita de material de índice de refração n maior do que o índice de refração do ar. Com esta lente podem-se realizar dois experimentos. No primeiro, a lente é imersa em um meio ideal, de índice de refração n_1 , e o seu comportamento óptico, quando um feixe de luz paralela passa por ela, é o mesmo de uma lente côncavo-convexa de índice de refração n imersa no ar. No segundo, a lente **S** é imersa em um outro meio ideal, de índice de refração n_2 e o seu comportamento óptico é o mesmo de uma lente convexo-côncava de índice de refração n imersa no ar.

Nessas condições, são feitas as seguintes afirmativas:

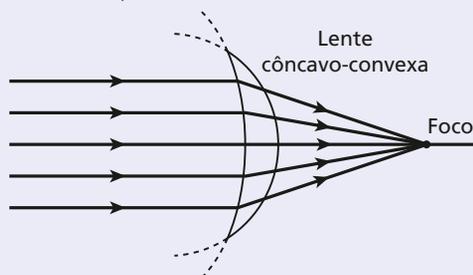
- I. $n_2 > n > n_1$.
- II. a lente **S**, quando imersa no ar, pode ser uma lente plano-côncava.
- III. a razão entre as vergências da lente **S** nos dois experimentos não pode ser 1.
- IV. as distâncias focais da lente **S**, nos dois experimentos, são sempre as mesmas.

São corretas, apenas

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

Resolução:

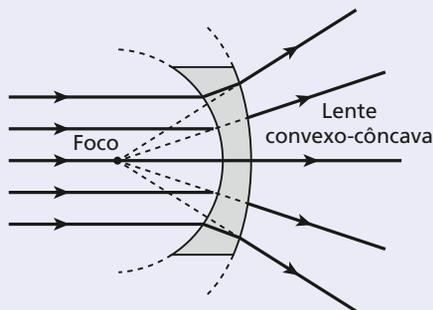
- I. Correta. Lente côncavo-convexa, de índice de refração n , imersa no ar: comportamento convergente, como ilustra o esquema abaixo.



Banco de imagens/Arquivo da editora

1ª Experimento: $n > n_1$

Lente convexo-côncava, de índice de refração n , imersa no ar: comportamento divergente, como ilustra o esquema abaixo.



Banco de imagens/Arquivo da editora

2ª Experimento: $n_2 > n$

Portanto: $n_2 > n > n_1$

- II. Incorreta. A lente **S**, ao contrário de uma lente plano-côncava, tem bordas finas.
- III. Correta. A razão entre vergências de **S** nos dois experimentos deve ser negativa.
- IV. Incorreta.

Resposta: C

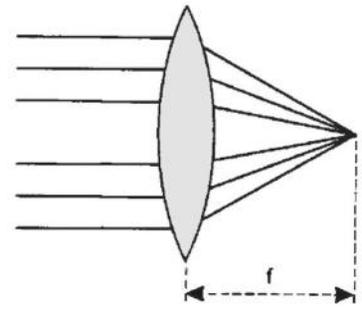
Questões

1. (Vunesp-Unifacef)

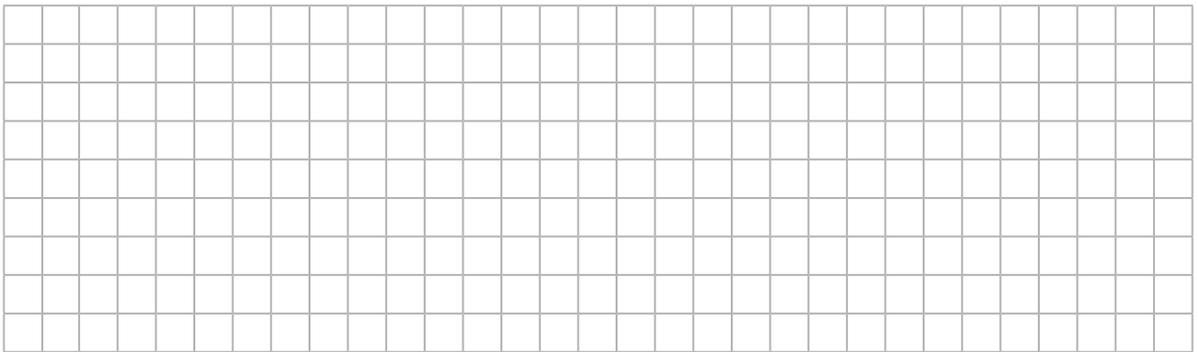
A figura mostra uma lente delgada convergente e alguns raios de luz monocromática que incidem paralelamente ao seu eixo principal. O ponto de concentração dos raios que emergem da lente está a uma distância f da lente, sobre o eixo principal.

Para que os raios de luz que emergiram da lente voltem a ser paralelos, pode-se colocar outra lente, idêntica à mostrada na figura e com eixos principais coincidentes, a uma distância da primeira lente igual a

- a) $2f$ c) $\frac{f}{2}$ e) $\frac{f}{4}$
 b) $4f$ d) f



Reprodução/Unifacef, 2015

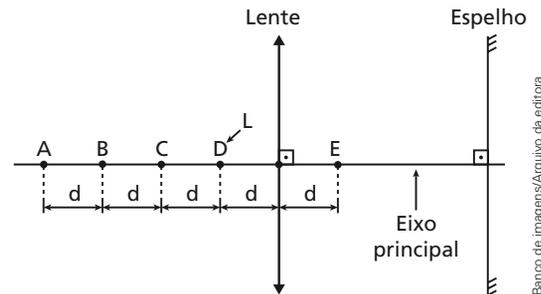


2. (Unip-SP)

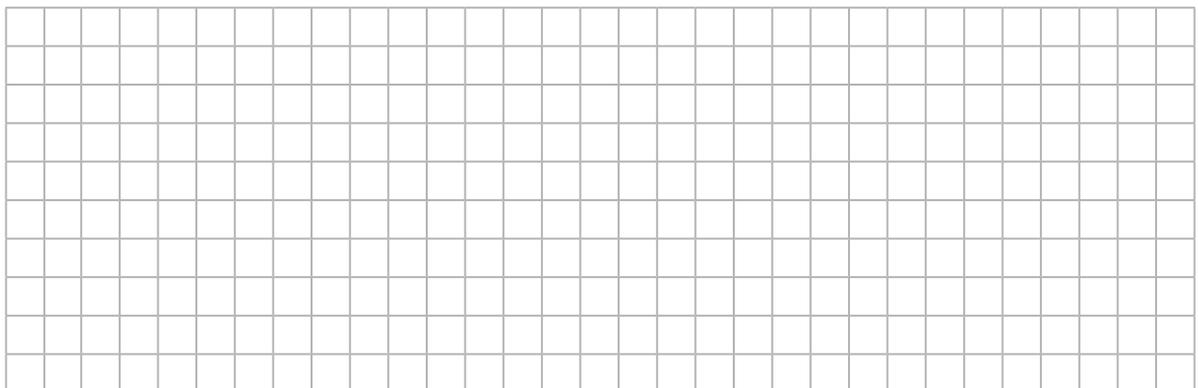
Uma pequena lâmpada L (objeto pontual) está fixa em um ponto D, no eixo principal de uma lente convergente. A luz proveniente da lâmpada se refrata na lente, se reflete em um espelho plano, posicionado perpendicularmente ao eixo principal da lente, e novamente se refrata na lente, formando uma imagem final L'.

Sabe-se que a lente tem distância focal igual a d (ver figura) e admita, na formação da imagem, serem válidas as condições de aproximação de Gauss. A imagem final L' se formará na posição:

- a) A b) B c) C d) D e) E



Banco de Imagens/Arquivo de editora



Reveja o que aprendeu

Você deve ser capaz de:

- ▶ Aplicar as leis da óptica geométrica na resolução de problemas referentes a sistemas ópticos.

Introdução

Os conceitos, as leis e os sistemas ópticos estudados até aqui constituem a base teórica para a implementação de **instrumentos ópticos**, que sempre desempenharam ao longo da história, desde suas primeiras concepções, papel preponderante na saga do conhecimento humano.

Os instrumentos ópticos costumam ser classificados em dois grupos: **instrumentos de projeção** e **instrumentos de observação**.

Projektor

Trata-se de um dispositivo que fornece, de um objeto real (arquivo eletrônico, diapositivo ou filme), uma imagem real projetada em uma tela. A imagem final é invertida (na vertical e na horizontal) e ampliada e pode comportar-se como objeto real para vários espectadores ao mesmo tempo.

Câmara fotográfica

É um dispositivo destinado à fixação de imagens. Em linhas gerais, ocorre o seguinte: a objetiva da câmera (sistema **convergente** formado por uma ou mais lentes) projeta a imagem real e invertida do motivo da fotografia sobre um anteparo fotossensível em que, devido a fenômenos fotoquímicos ou fotoeletrônicos, ela fica gravada.

Lupa ou microscópio simples

Esse dispositivo nada mais é do que um sistema convergente, de distância focal da ordem de centímetros.

Microscópio composto

É um instrumento de aumento constituído basicamente de dois sistemas **convergentes** de lentes associados coaxialmente: o primeiro é a **objetiva** (distância focal da ordem de milímetros), que responde pela captação da primeira imagem do objeto; o segundo é a **ocular**, que, operando como lupa, forma a imagem final, a qual se comporta como objeto para o olho do observador.

A ampliação total fornecida por um microscópio composto é dada pelo produto dos aumentos da objetiva e da ocular:

$$A = A_{ob} \cdot A_{oc}$$

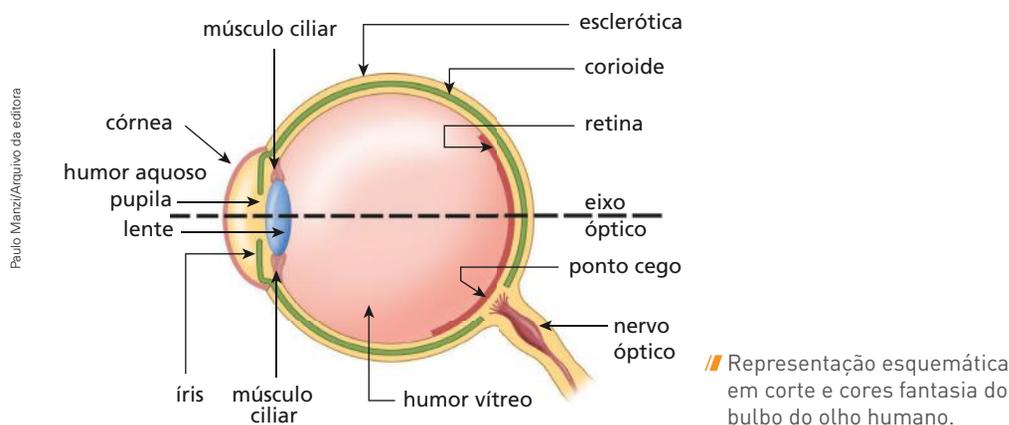
Lunetas

São instrumentos formados basicamente por dois sistemas **convergentes** de lentes, associados coaxialmente: o primeiro é a **objetiva** (distância focal da ordem de décimos ou metros), que capta a primeira imagem do objeto; o segundo é a **ocular**, que, operando como lupa, conjuga a imagem final, a qual se comporta como objeto para o olho do observador.

Por definição, o **aumento visual** ou **aumento angular** para essa luneta é a grandeza adimensional G , dada por:

$$G = \frac{\text{tg } \theta}{\text{tg } \theta_0}$$

O bulbo do olho humano



Adaptação visual

A pupila gradua o fluxo luminoso que adentra o bulbo do olho, protegendo a retina contra eventuais ofuscamentos. Aumentando a intensidade luminosa incidente no bulbo do olho, ocorre contração da pupila e diminuição da sensibilidade da retina. O fenômeno oposto acontece na diminuição da intensidade luminosa incidente. Essa propriedade que o bulbo do olho tem de se adequar à luminosidade ambiente se chama **adaptação visual**.

Acomodação visual

O processo de ajuste da distância focal do sistema óptico do bulbo do olho à visão nítida de objetos diferentemente afastados é denominado **acomodação visual**.

Defeitos visuais e sua correção

Os principais defeitos da visão são: a **miopia**, a **hipermetropia**, a **presbiopia**, o **astigmatismo** e o **estrabismo**.

Miopia: consiste em um **alongamento** do bulbo do olho na direção anteroposterior.

Hipermetropia: este defeito consiste em um **encurtamento** do bulbo do olho na direção anteroposterior.

Presbiopia: consiste no **enrijecimento dos músculos ciliares** ou da **própria lente** natural do olho, o que ocorre com o evoluir da idade.

Astigmatismo: consiste em **imperfeições na simetria** de revolução do sistema óptico ocular em torno de seu eixo óptico.

Estrabismo: consiste na **incapacidade de dirigir simultaneamente** as retas visuais dos dois olhos para o ponto visado.

Aplique o que aprendeu

Exercícios resolvidos

1. (SLMandic-SP) O *Extremely Large Telescope* (ELT) é o próximo telescópio da *European Southern Observatory* (ESO) a ser construído no norte do Chile. Com impressionantes 39,4 m de diâmetro em seu espelho primário, o telescópio promete abordar os maiores desafios da Astronomia. Essencialmente, o ELT consiste em uma associação de espelhos que ampliam a área coletora de luz, quando comparada ao olho humano, fazendo com que objetos impossíveis de serem observados a olho nu se tornem visíveis.



L. Calçada/ESO/Agência France-Press

Sobre o funcionamento do ELT foram realizadas as seguintes afirmativas:

- I. A função do telescópio é ampliar o tamanho dos objetos, pois, ao deixar a imagem maior que o objeto, permite aumentar a quantidade de dados sobre o objeto estudado.
- II. Um dos problemas deste tipo de telescópio, que observa o céu da superfície da Terra, é lidar com as interferências da atmosfera terrestre na luz proveniente dos astros, tais como a refração da luz e a aberração cromática.
- III. O espelho côncavo com 39,4 m de diâmetro favorece a formação de imagens mais detalhadas, pois a luz proveniente do astro observado, ao incidir neste espelho, reflete concentrando-se no seu foco.

É correto o que se afirma em

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

Resolução:

I. Incorreta.

O ELT não produz aumentos lineares, mas apenas aumentos do ângulo visual de observação.

II. Correta.

III. Correta.

Resposta: B

2. (Vunesp)

A figura mostra a foto de um microscópio composto basicamente de 2 lentes esféricas: a objetiva e a ocular. Para que a função primordial do microscópio seja cumprida, o material a ser analisado deve ser depositado sobre uma lâmina que deve estar

- a) sobre o foco principal da ocular.
- b) entre o centro óptico e o foco principal da ocular.
- c) entre o centro óptico e o foco principal da objetiva.
- d) sobre o foco principal da objetiva.
- e) entre o foco principal e o ponto antiprincipal da objetiva.



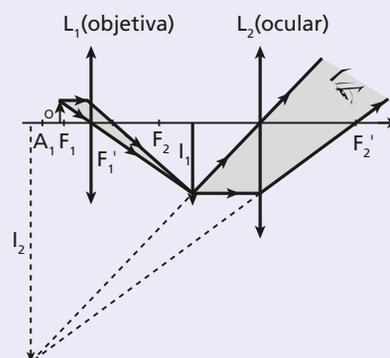
Banco de imagens/Arquivo da editora

Resolução:

A formação da imagem no microscópio composto está esquematizada na imagem ao lado.

A imagem real configurada por L_1 , se comporta como objeto real em relação a L_2 , que, por sua vez, produz uma imagem final virtual que é dada ao observador contemplar.

Resposta: E

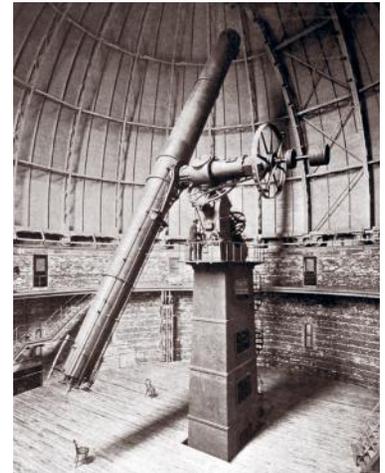


Banco de imagens/Arquivo da editora

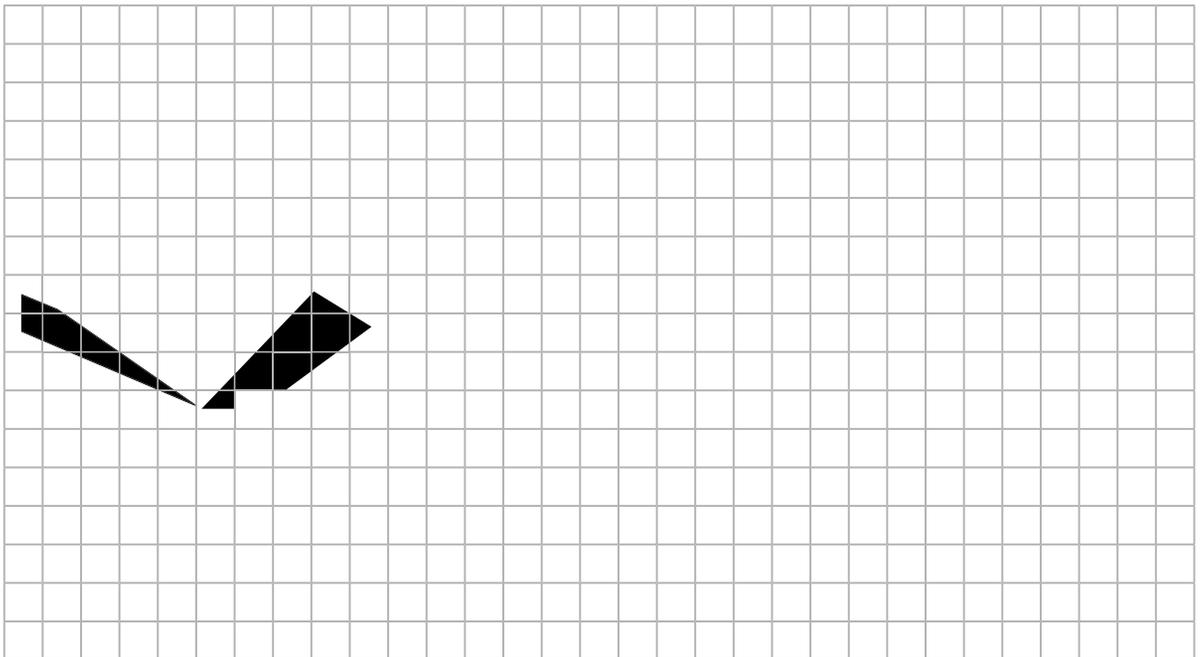
Questões

1. Um telescópio refrator trabalha com a propriedade de refração da luz. Esse instrumento possui uma lente objetiva que capta a luz dos objetos e forma a imagem. Outra lente convergente, a ocular, funciona como uma lupa, aumentando o tamanho da imagem formada pela lente objetiva. O maior telescópio refrator do mundo em utilização, com 19,2 m de comprimento, é o telescópio Yerkes, que teve sua construção finalizada em 1897 e localiza-se na Universidade de Chicago, nos EUA. O telescópio Yerkes possui uma objetiva com aproximadamente 100 cm de diâmetro e com razão focal (definida como a razão entre a distância focal e o diâmetro de abertura da lente) igual a 19,0.

- Qual a distância focal da objetiva do telescópio refrator descrito e quanto vale a soma das distâncias focais da objetiva e da ocular?
- Qual é o aumento visual (ampliação angular) do telescópio?



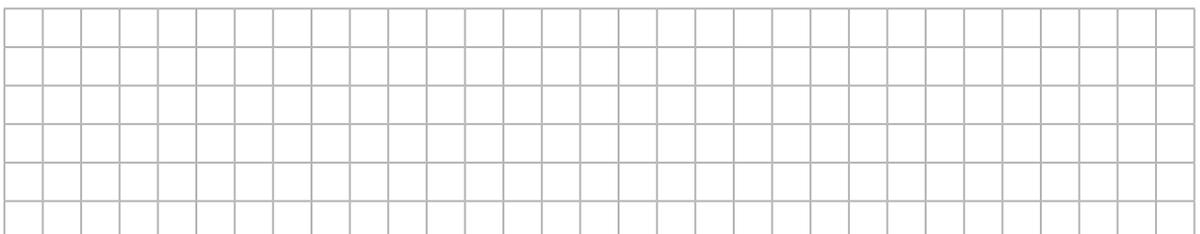
Reprodução/Wikimedia Commons



2. (Vunesp-ESCS-SP)

O olho humano é formado por um conjunto de lentes que podem, dentro de certos limites, alterar seu formato e promover a focalização dos raios de luz na retina, região onde se localizam os fotorreceptores.

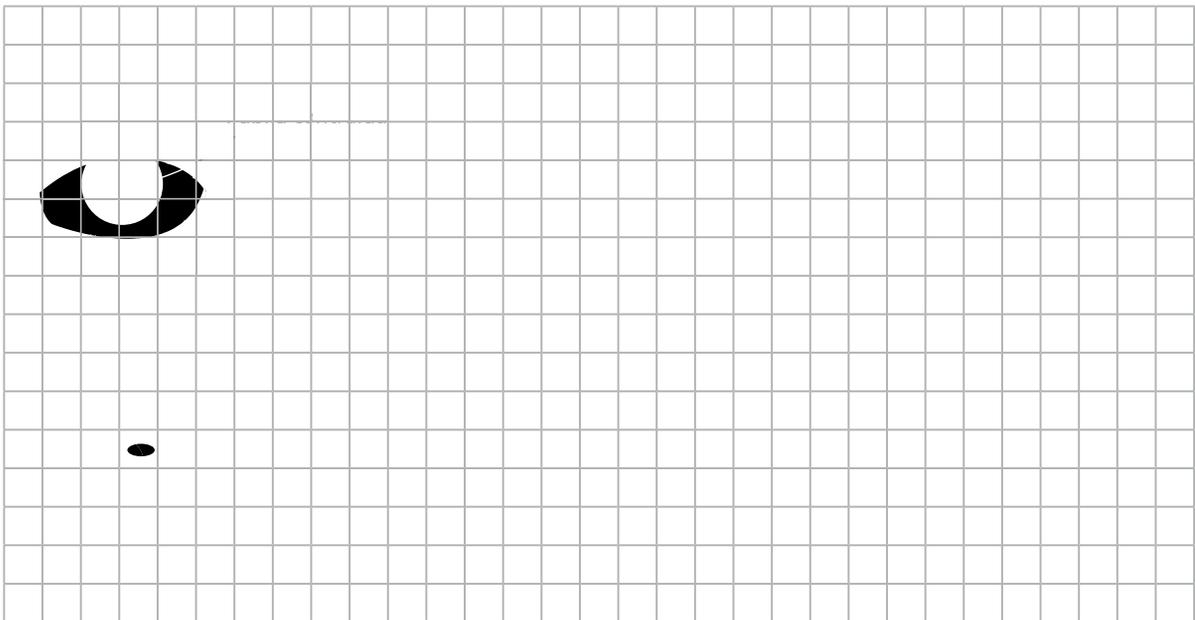
- Existem dois tipos de fotorreceptores na retina. Cite um deles e indique sua função.
- Ao aproximarmos objetos dos olhos, ocorre uma acomodação visual promovida pelos músculos ciliares e pelo cristalino. O que ocorre em tais estruturas para que o objeto aproximado seja focalizado?



3. (Fuvest-SP)

Num ambiente iluminado, ao focalizar um objeto distante, o olho humano se ajusta a essa situação. Se a pessoa passa, em seguida, para um ambiente de penumbra, ao focalizar um objeto próximo, a íris

- a) aumenta, diminuindo a abertura da pupila, e os músculos ciliares se contraem, aumentando o poder refrativo do cristalino.
- b) diminui, aumentando a abertura da pupila, e os músculos ciliares se contraem, aumentando o poder refrativo do cristalino.
- c) diminui, aumentando a abertura da pupila, e os músculos ciliares se relaxam, aumentando o poder refrativo do cristalino.
- d) aumenta, diminuindo a abertura da pupila, e os músculos ciliares se relaxam, diminuindo o poder refrativo do cristalino.
- e) diminui, aumentando a abertura da pupila, e os músculos ciliares se relaxam, diminuindo o poder refrativo do cristalino.



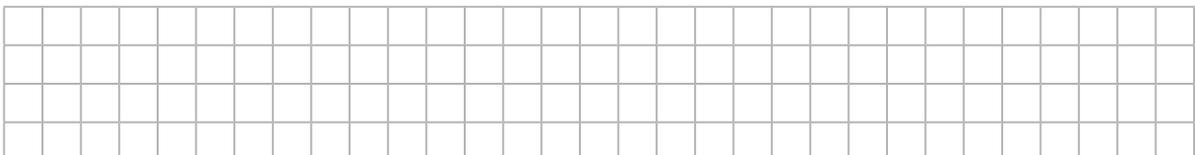
4. (Enem)

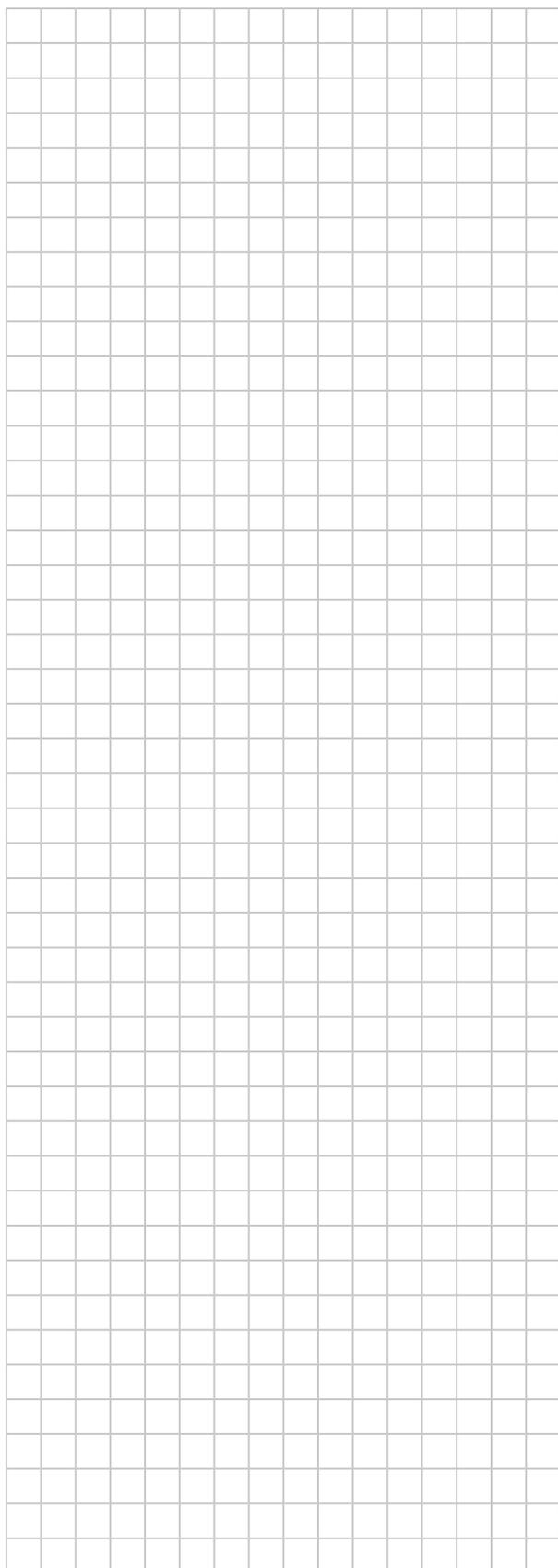
A retina é um tecido sensível à luz, localizado na parte posterior do olho, onde ocorre o processo de formação de imagem. Nesse tecido, encontram-se vários tipos celulares específicos. Um desses tipos celulares são os cones, os quais convertem os diferentes comprimentos de onda da luz visível em sinais elétricos, que são transmitidos pelo nervo óptico até o cérebro.

Disponível em: <www.portaldaretina.com.br>. Acesso em: 13 jun. 2012 (adaptado).

Em relação à visão, a degeneração desse tipo celular irá

- a) comprometer a capacidade de visão em cores.
- b) impedir a projeção dos raios luminosos na retina.
- c) provocar a formação de imagens invertidas na retina.
- d) causar dificuldade de visualização de objetos próximos.
- e) acarretar a perda da capacidade de alterar o diâmetro da pupila.





1. Um jovem estudante estava em uma aula de Química em um laboratório quando observou que a diferença entre as temperaturas de ebulição do álcool etílico e do éter etílico é de $78,0\text{ }^\circ\text{F}$, quando medido sob pressão de $1,0\text{ atm}$. Procurando em um livro que tinha à disposição, encontrou a temperatura de ebulição do éter etílico, $35,0\text{ }^\circ\text{C}$. Com esses dados, encontre a temperatura de ebulição do álcool etílico. O valor encontrado deve ser maior do que $35,0\text{ }^\circ\text{C}$.

2. (UFPB)

Durante uma temporada de férias na casa de praia, em certa noite, o filho caçula começa a apresentar um quadro febril preocupante. A mãe, para saber, com exatidão, a temperatura dele, usa um velho termômetro de mercúrio, que não mais apresenta com nitidez os números referentes à escala de temperatura em graus Celsius. Para resolver esse problema e aferir com precisão a temperatura do filho, a mãe decide graduar novamente a escala do termômetro usando como pontos fixos as temperaturas do gelo e do vapor da água. Os valores que ela obtém são: 5 cm para o gelo e 25 cm para o vapor. Com essas aferições em mãos, a mãe coloca o termômetro no filho e observa que a coluna de mercúrio para de crescer quando atinge a marca de 13 cm .

Com base nesse dado, a mãe conclui que a temperatura do filho é de:

- a) $40,0\text{ }^\circ\text{C}$ c) $39,0\text{ }^\circ\text{C}$ e) $38,0\text{ }^\circ\text{C}$
 b) $39,5\text{ }^\circ\text{C}$ d) $38,5\text{ }^\circ\text{C}$

3. (UPM-SP)

Uma escala termométrica A adota para a temperatura da água em ebulição à pressão normal, de $70\text{ }^\circ\text{A}$, e para a temperatura de fusão do gelo à pressão normal, de $20\text{ }^\circ\text{A}$. Outra escala termométrica B adota para a temperatura da água em ebulição à pressão normal, de $90\text{ }^\circ\text{B}$, e para a temperatura de fusão do gelo à pressão normal, de $10\text{ }^\circ\text{B}$. A expressão que relaciona a temperatura das escalas A (θ_A) e B (θ_B) é

- a) $\theta_B = 2,6 \cdot \theta_A - 42$ d) $\theta_A = 1,6 \cdot \theta_B + 22$
 b) $\theta_B = 2,6 \cdot \theta_A - 22$ e) $\theta_A = 1,6 \cdot \theta_B + 42$
 c) $\theta_B = 1,6 \cdot \theta_A - 22$

4. (UPM-SP)

Um bloco metálico de capacidade térmica $150 \text{ cal/}^\circ\text{C}$ é colocado no interior de um forno. Esse bloco atinge o equilíbrio térmico após receber 39 kcal , não variando seu estado de agregação. A variação de temperatura sofrida por esse bloco, na escala Fahrenheit, é

- a) 246°F
- b) 289°F
- c) 367°F
- d) 402°F
- e) 468°F

5. (Vunesp)

Para saber se a temperatura do leite estava entre 40°C e 45°C , um fabricante de queijo utilizou um termômetro velho, cujos números de escala estavam apagados. Com o auxílio de um termômetro em boas condições, fez duas marcas indicativas dessa região de temperatura no termômetro velho e, mantendo os dois termômetros sob mesma condição térmica, fez as seguintes medições:

Termômetro sem escala	Termômetro em boas condições
0 mm	0°C
80 mm	40°C
200 mm	100°C

Determine

- a) de acordo com essas medições, a extensão, em milímetros, da região desejada pelo queijeiro;
- b) a pressão de vapor do leite a 40°C , se o queijeiro utilizar um termômetro a gás num local onde a pressão atmosférica vale 76 cmHg e a coluna do termômetro indica 136 cmHg ;
- c) a radiação eletromagnética emitida pelo leite a 40°C por meio de um pirômetro óptico digital.

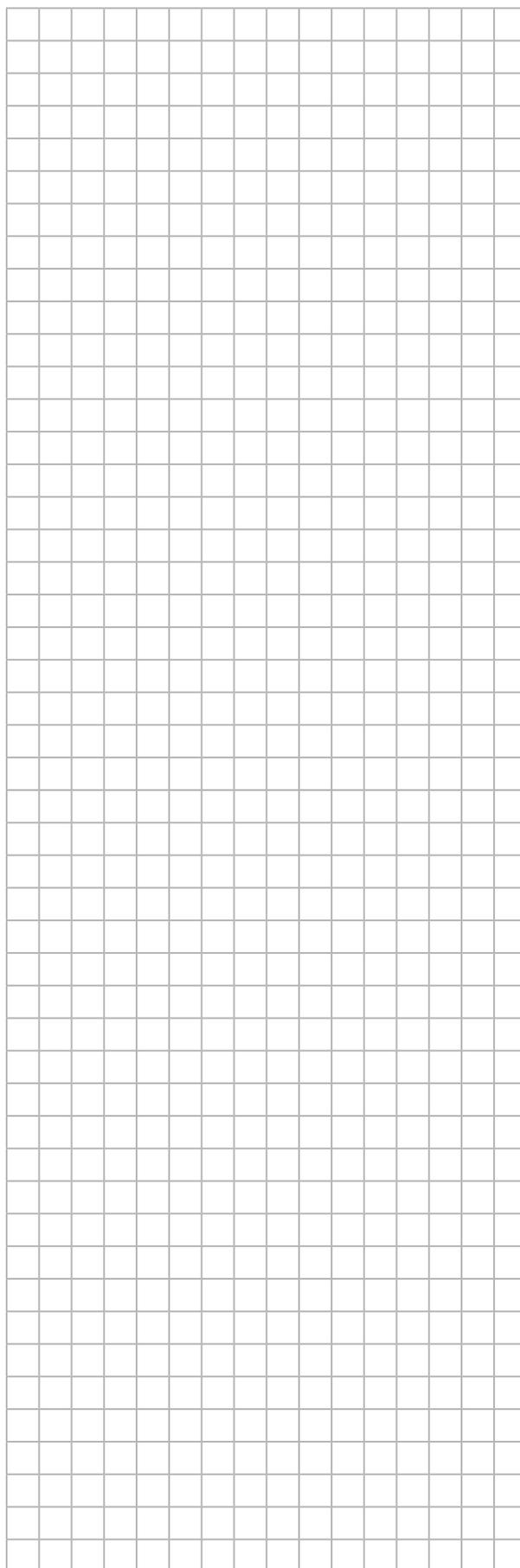
Dado:

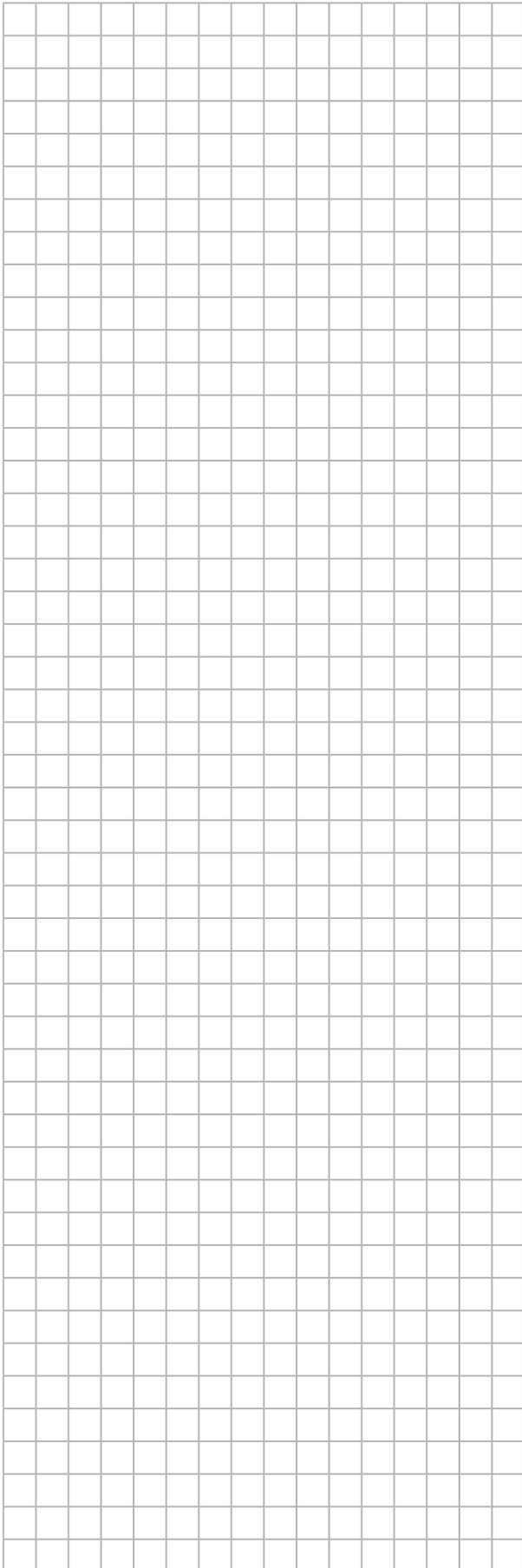
Lei de Wien

$$\lambda T = 3,0 \cdot 10^{-3} \text{ mK}$$

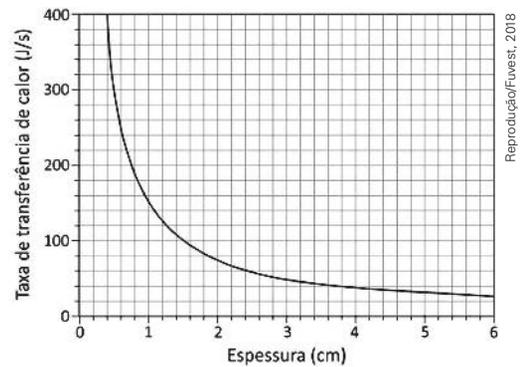
6. (Fuvest-SP)

Um fabricante de acessórios de montanhismo quer projetar um colchão de espuma apropriado para ser utilizado por alpinistas em regiões frias. Considere que a taxa de transferência de calor ao solo por uma pessoa dormindo confortavelmente seja 90 kcal/hora e que a transferência





de calor entre a pessoa e o solo se dê exclusivamente pelo mecanismo de condução térmica através da espuma do colchão. Nestas condições, o gráfico representa a taxa de transferência de calor, em J/s, através da espuma do colchão, em função de sua espessura, em cm.



Considerando $1 \text{ cal} = 4 \text{ J}$, a menor espessura do colchão, em cm, para que a pessoa durma confortavelmente é

- a) 1,0. c) 2,2. e) 3,9.
 b) 1,5. d) 2,8.

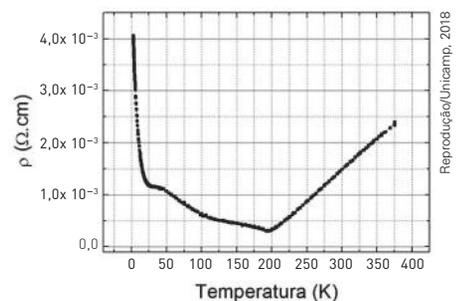
7. (Unicamp-SP)

Materiais termoelétricos são aqueles com alto potencial de transformar calor em energia elétrica. A capacidade de conversão de calor em eletricidade é quantificada pela grandeza

$$F = \frac{S^2}{\rho\kappa} T,$$

que é adimensional e função da temperatura T e das propriedades do material:

resistividade elétrica ρ , condutividade térmica κ , coeficiente Seebeck S . O gráfico a seguir mostra ρ em função de T para certo material termoelétrico. Analisando o gráfico e considerando $\kappa = 2,0 \text{ W}/(\text{m} \times \text{K})$ e $S = 300 \mu\text{V}/\text{K}$ para esse material, a uma temperatura $T = 300 \text{ K}$, conclui-se que a grandeza F desse material a essa temperatura vale



- a) 0,003. c) 0,9.
 b) 0,6. d) 90.

8. (UFABC-SP)

A expressão do fluxo de calor em função do tempo, ao longo de uma barra homogênea de comprimento L e área de secção A é:

$$\phi = \frac{K \cdot A \cdot \Delta\theta}{L}$$

Considerando-se como grandezas fundamentais força (F), comprimento (L), tempo (T) e temperatura (θ), a equação dimensional de K é:

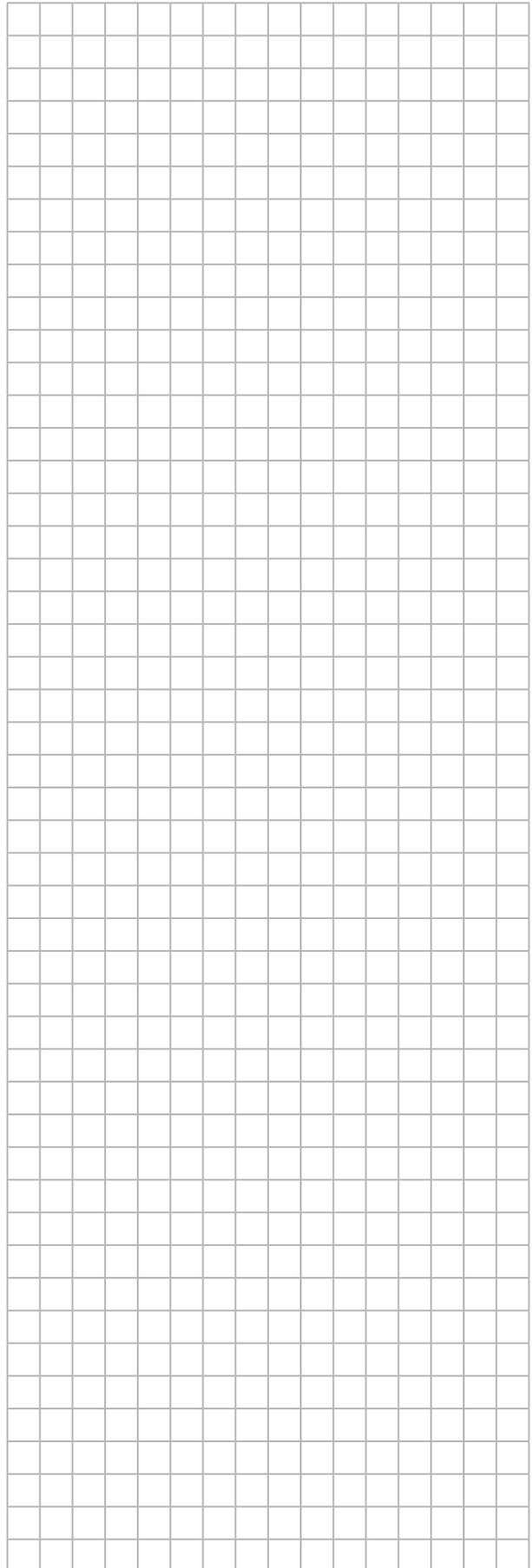
- a) $[K] = F^0 L^0 T \theta^{-2}$
- b) $[K] = F^2 L^{-1} T^0 \theta$
- c) $[K] = F L^0 T^{-1} \theta^{-1}$
- d) $[K] = F L^{-1} T^0 \theta^{-1}$
- e) $[K] = F L^0 T^{-1} \theta^{-2}$

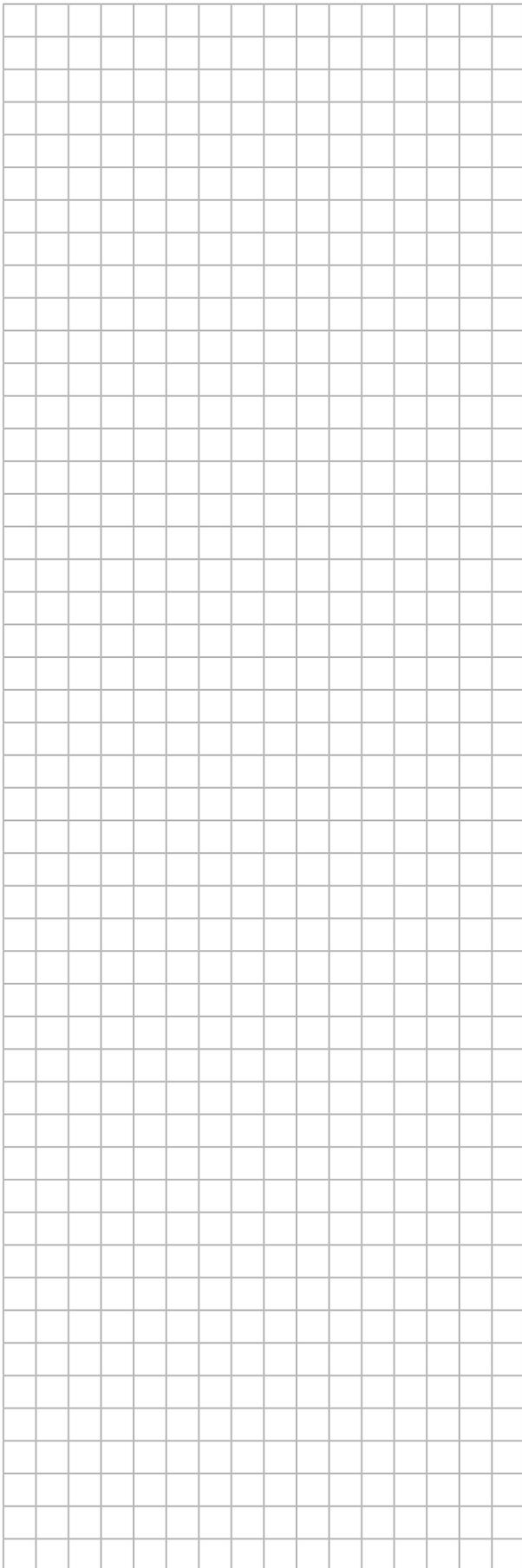
9. (UEM-PR)

Uma barra metálica cilíndrica tem 80 cm de comprimento e 200 cm² de seção reta. Em todo o seu comprimento, ela é envolvida por uma grossa camada de um material especial que, além de ser impermeável à água, é um excelente isolante térmico. Desse modo, somente as bases do cilindro metálico ficam expostas e podem trocar calor com o meio ambiente. Uma das extremidades da barra é introduzida em uma caldeira isolada que contém água em ebulição, à pressão de 1 atmosfera, e a outra extremidade fica em contato com o ar, a 20 °C. Sabendo que a condutividade térmica do metal de que a barra é feita vale $5 \cdot 10^{-2}$ kcal/(s · m · °C), calcule, em kcal, a quantidade de calor transferida ao ar, durante 10 minutos, em regime estacionário.

10. (OBF)

Um galpão possui área 300 m² de paredes, laje, janelas e portas. O coeficiente de condutibilidade térmica média deste conjunto é $K = 0,50$ W/m °C; a espessura média é $x = 0,20$ m. Num inverno, deseja-se manter constante, em 20 °C, a diferença de temperatura do ar no interior e no exterior do galpão, durante o período de um mês. Em paredes sólidas, sabe-se que a quantidade de calor transmitida por segundo de uma face à face oposta é diretamente proporcional à área e à diferença de temperatura entre as faces, e inversamente proporcional à espessura. Esta quantidade de calor depende também da natureza do material que conduz o calor, ou seja, do seu coeficiente de condutividade térmica. Matematicamente, $q = k \times (\text{área}) \times (\text{diferença de temperatura}) \div (\text{espessura do material})$. Usar: 1 cal = 4 J.





- a) Qual o custo mensal para manter constante a temperatura do ambiente interno por meio de lâmpadas de incandescência acesas, considerando que 1 MWh de energia elétrica custa R\$ 120,00?
- b) Caso a diferença de temperaturas seja mantida constante um aquecedor a gás, qual o volume mensal de gás necessário para um gás com calor de combustão $C = 9000 \text{ kcal/m}^3$ e 100% de rendimento do processo?

11. (UEM-PR)

Uma lei para transferência de calor em regime estacionário é a Lei de Fourier. Ela diz o seguinte: "A quantidade de calor que flui por unidade de tempo e por unidade de área em um dado material homogêneo é proporcional à variação da temperatura, na razão direta, e à espessura, na razão inversa". A constante de proporcionalidade é chamada condutibilidade ou condutividade térmica. Considere, agora, uma cabana de inverno, com temperatura interna constante e igual a 22°C e a externa igual a 0°C . Considere, ainda, a cabana bem isolada termicamente, e que ocorra perda de calor somente pela única janela, feita de vidro e cuja dimensão é $1,0 \text{ m} \times 1,0 \text{ m}$ e espessura $5,0 \text{ cm}$. Com base no enunciado e no esquema dado, assinale o que for correto. Dado: condutividade de vidro = $0,80 \text{ J/s} \cdot \text{m} \cdot ^\circ\text{C}$.



Banco de imagens/
Arquivo da editora

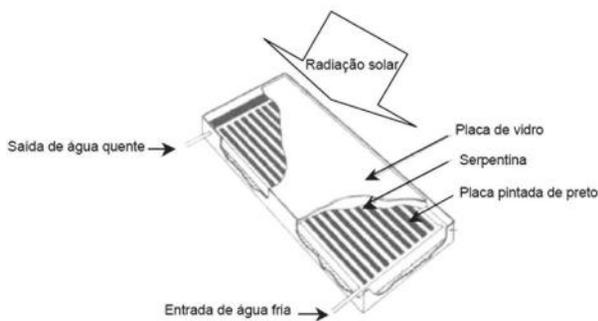
- (01) O fluxo de calor se dá de B para A.
- (02) O calor transferido, por segundo, pela janela é de 352 joules.
- (04) A razão da queda de temperatura na janela é igual a 440°C por metro de espessura dela.
- (08) A potência térmica associada ao calor trocado pelos ambientes A e B é igual à quantidade de calor que sai, por segundo, da cabana para o ambiente e vale $2,8 \cdot 10^{-3} \text{ W}$.
- (16) De acordo com o enunciado da Lei de Fourier, o fluxo de calor é dado em watts.
- (32) A equação dimensional para o fluxo de calor, por área unitária, é $[\text{M}] \cdot [\text{T}]^{-3}$.

12. (UFRN)

Atualmente se fala muito em economizar energia elétrica. Uma das alternativas é aproveitar a energia do Sol para o aquecimento de água em residências, por meio de coletor solar. O princípio de funcionamento do coletor baseia-se no fato de que todo corpo exposto à radiação do Sol tende a se aquecer pela absorção dessa energia.

A figura a seguir é uma representação esquemática de um tipo de coletor solar composto basicamente por:

- uma caixa fechada, contendo canos de cobre na forma de serpentina (onde circula a água a ser aquecida);
- uma placa pintada de preto fosco (para melhorar o processo de aquecimento da água);
- uma tampa de vidro transparente (por onde passa a radiação solar e que ajuda a reduzir perdas por convecção).



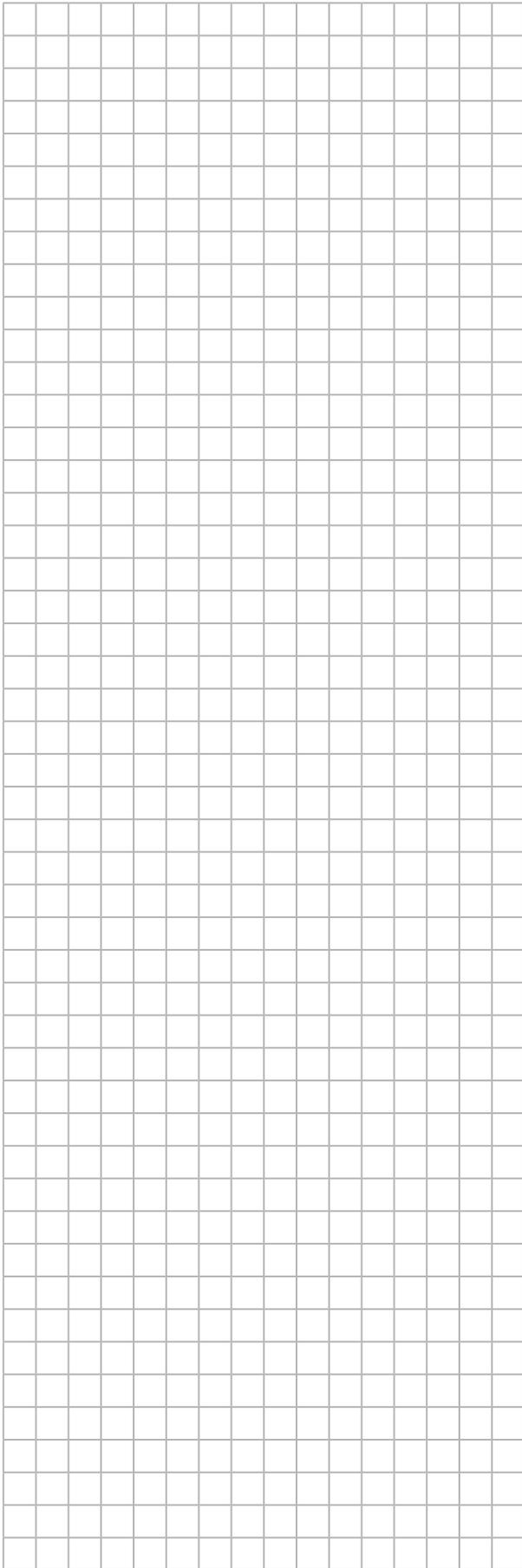
Reprodução/UFRN, 2002

Considere

- a intensidade da radiação solar $I = 60 \frac{\text{cal}}{\text{cm}^2 \cdot \text{h}}$;
- a área de absorção de energia do coletor $A = 5 \cdot 10^4 \text{ cm}^2$;
- o calor específico da água $c = 10^3 \frac{\text{cal}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$;
- a quantidade de água aquecida de 30°C para 70°C , em uma hora, como sendo $m = 36 \text{ kg}$;
- o rendimento, η , como sendo a razão entre a energia absorvida pela água no processo de aquecimento e a energia fornecida pelo Sol ao coletor.

Considerando os dados acima, calcule:

- a) a quantidade de energia, por hora, que é absorvida pela água.
- b) o rendimento, η , desse coletor.



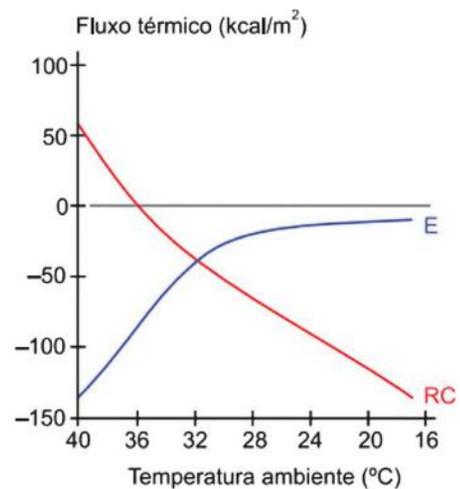
13. (Unicamp-SP)

Icebergs flutuam na água do mar, assim como o gelo em um copo com água potável. Imagine a situação inicial de um copo com água e gelo, em equilíbrio térmico à temperatura de 0 °C. Com o passar do tempo o gelo vai derretendo. Enquanto houver gelo, a temperatura do sistema

- a) permanece constante, mas o volume do sistema aumenta.
- b) permanece constante, mas o volume do sistema diminui.
- c) diminui e o volume do sistema aumenta.
- d) diminui, assim como o volume do sistema.

14. (Unesp-SP)

O gráfico mostra o fluxo térmico do ser humano em função da temperatura ambiente em um experimento no qual o metabolismo basal foi mantido constante. A linha azul representa o calor trocado com o meio por evaporação (**E**) e a linha vermelha, o calor trocado com o meio por radiação e convecção (**RC**).



Reprodução/Unesp, 2018

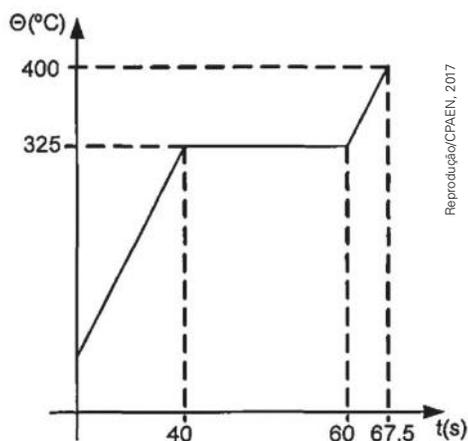
(Eduardo A. C. Garcia. *Biofísica*, 1997. Adaptado.)

Sabendo que os valores positivos indicam calor recebido pelo corpo e os valores negativos indicam o calor perdido pelo corpo, conclui-se que:

- a) em temperaturas entre 36 °C e 40 °C, o corpo recebe mais calor do ambiente do que perde.
- b) à temperatura de 20 °C, a perda de calor por evaporação é maior que por radiação e convecção.
- c) a maior perda de calor ocorre à temperatura de 32 °C.
- d) a perda de calor por evaporação se aproxima de zero para temperaturas inferiores a 20 °C.
- e) à temperatura de 36 °C, não há fluxo de calor entre o corpo e o meio.

15. (CPAEN-RJ)

Análise o gráfico abaixo.

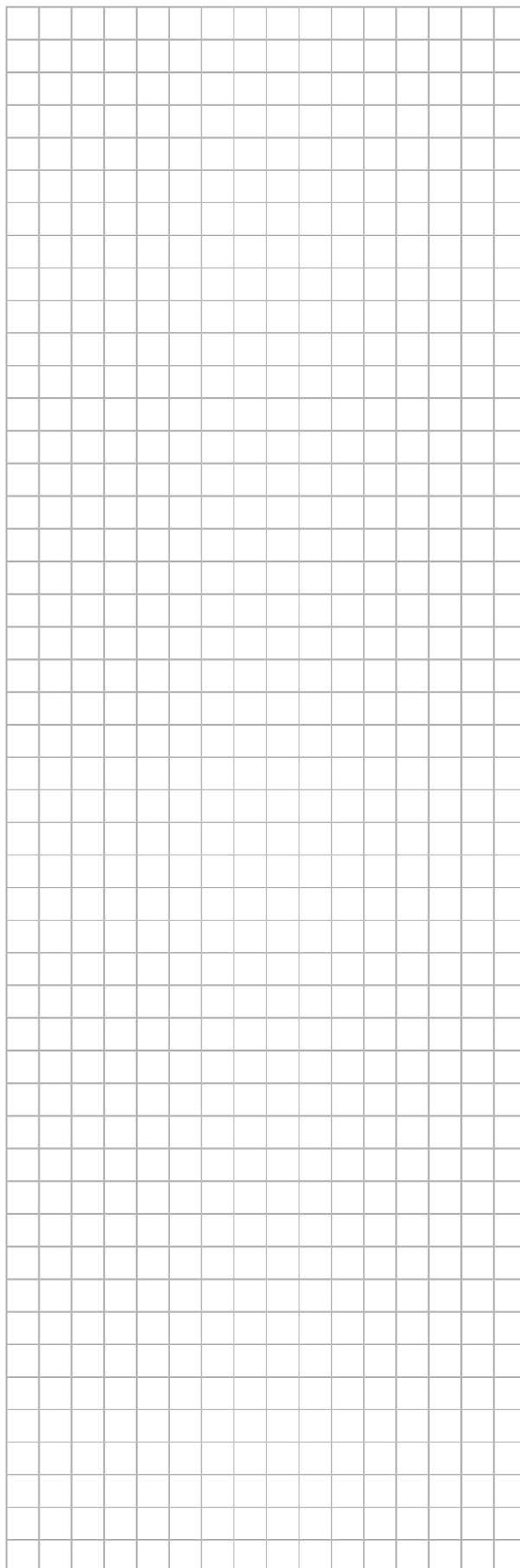


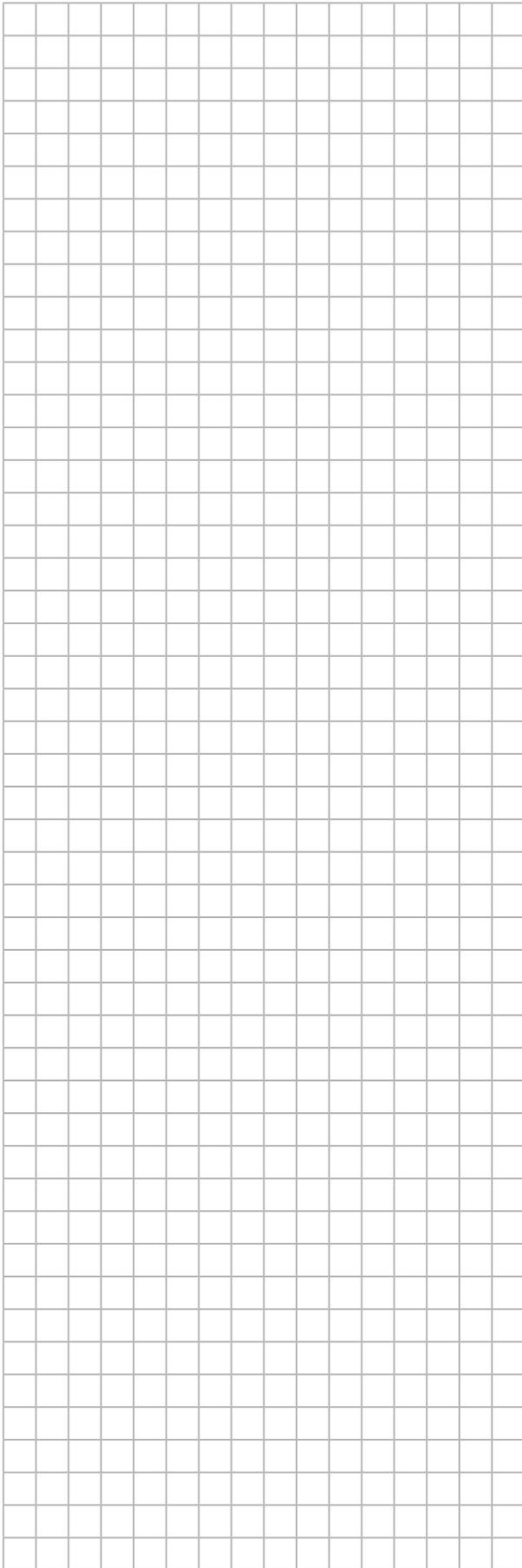
O gráfico acima descreve o processo de aquecimento de certa substância que se encontra inicialmente na fase sólida. O calor latente de fusão dessa substância é $6,0 \text{ cal/g}$. Em um processo à pressão constante de $1,0 \text{ atm}$, ela é levada à fase líquida, com temperatura final de 40°C . A potência fornecida nessa transformação foi de 360 cal/s . O gráfico mostra a temperatura da substância em função do tempo, durante o processo. Qual o calor específico dessa substância, em $\text{mcal/g} \cdot ^\circ\text{C}$?

16. (Unicamp-SP)

O controle da temperatura da água e de ambientes tem oferecido à sociedade uma grande gama de confortos muito bem-vindos. Como exemplo podemos citar o controle da temperatura de ambientes fechados e o aquecimento da água usada para o banho.

O sistema de refrigeração usado em grandes instalações, como centros comerciais, retira o calor do ambiente por meio da evaporação da água. Os instrumentos que executam esse processo são usualmente grandes torres de refrigeração vazadas, por onde circula água, e que têm um grande ventilador no topo. A água é pulverizada na frente do fluxo de ar gerado pelo ventilador. Nesse processo, parte da água é evaporada, sem alterar a sua temperatura, absorvendo calor da parcela da água que permaneceu líquida. Considere que 110 litros de água a 30°C circulem por uma torre de refrigeração e que, desse volume, 2 litros sejam evaporados. Sabendo que o calor latente de vaporização da água é $L = 540 \text{ cal/g}$ e que seu calor específico é $c = 1,0 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$, qual é a temperatura final da parcela da água que não evaporou?





17. (Fuvest-SP)

Furacões são sistemas físicos que liberam uma enorme quantidade de energia por meio de diferentes tipos de processos, sendo um deles a condensação do vapor em água. De acordo com o Laboratório Oceanográfico e Meteorológico do Atlântico, um furacão produz, em média, 1,5 cm de chuva por dia em uma região plana de 660 km de raio. Nesse caso, a quantidade de energia por unidade de tempo envolvida no processo de condensação do vapor em água da chuva é, aproximadamente

- a) $3,8 \cdot 10^{15}$ W.
- b) $4,6 \cdot 10^{14}$ W.
- c) $2,1 \cdot 10^{13}$ W.
- d) $1,2 \cdot 10^{12}$ W.
- e) $1,1 \cdot 10^{11}$ W.

Note e adote:

$$\pi = 3$$

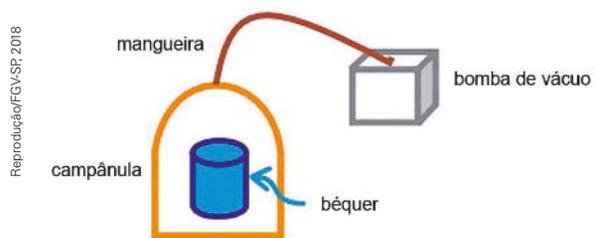
Calor latente de vaporização da água: $2 \cdot 10^6$ J/kg.

Densidade da água: 10^3 kg/m³.

$$1 \text{ dia} = 8,6 \cdot 10^4 \text{ s.}$$

18. (FGV-SP)

A figura representa uma montagem experimental em que um béquer, contendo água à temperatura ambiente, é colocado no interior de uma campânula de vidro transparente, dotada de um orifício em sua cúpula, por onde passa uma mangueira ligada a uma bomba de vácuo. A bomba é ligada, e o ar vai sendo, gradualmente, retirado do interior da campânula.



Observa-se que, a partir de determinado instante,

- a) a água entra em ebulição, propiciada pela diminuição da pressão.
- b) a água entra em ebulição, favorecida pela máxima pressão de saturação.
- c) ocorre a formação de gelo, propiciada pela diminuição da pressão.
- d) ocorre a formação de gelo, favorecida pela máxima pressão de saturação.
- e) é atingido o ponto triplo, favorecido pela máxima pressão de saturação.

19. (IJSO)

Propriedades da água

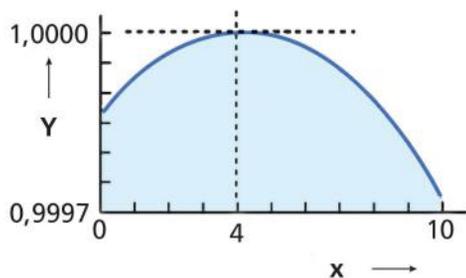
Duas propriedades específicas da água são destacadas abaixo.

Propriedade 1

A capacidade térmica da água é grande em comparação a outras substâncias comuns.

Propriedade 2

A água se comporta diferente entre 0 °C e 4 °C comparada com outras substâncias (ver figura).



Reprodução/IJSO, 2017

Y = densidade da água em kg/dm³

X = temperatura em °C

Considere as seguintes afirmações:

- I. A propriedade 1 tem o efeito de estabilizar a temperatura média da Terra.
- II. A propriedade 2 faz com que a água líquida a temperatura de +4 °C esteja localizada na parte mais profunda de uma vala, quando existe uma pequena lâmina de gelo na superfície da água.

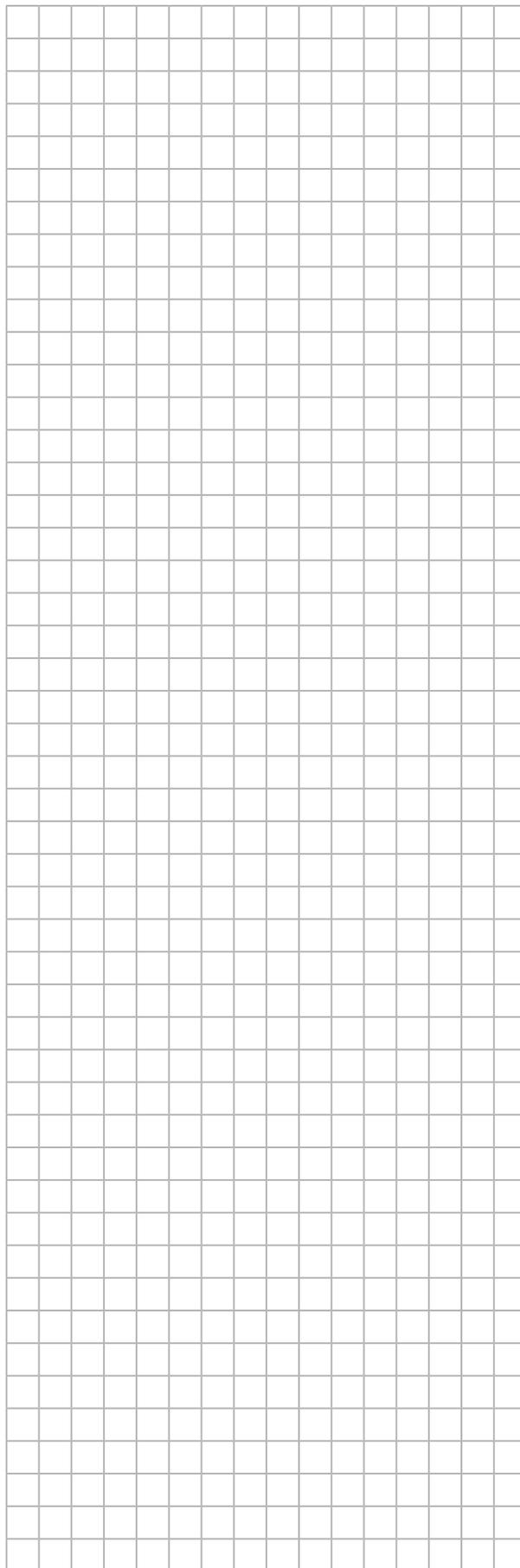
Quais das alternativas são verdadeiras?

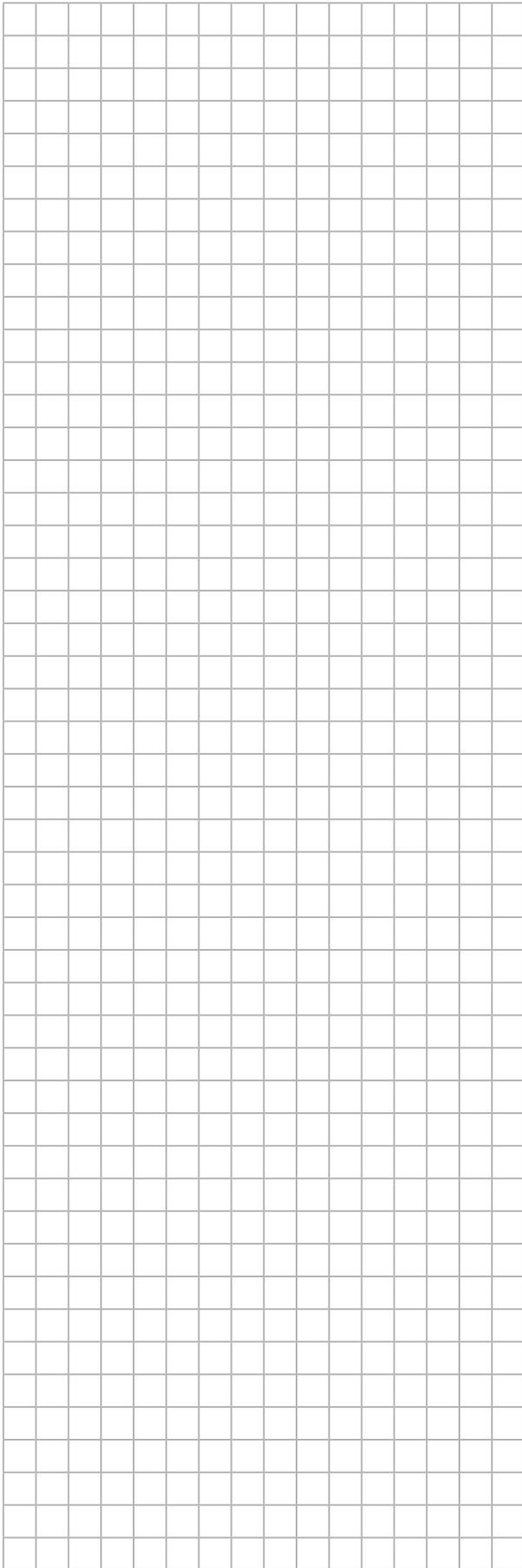
- a) Somente I
- b) Somente II
- c) Ambas I e II
- d) Nem I nem II

20. (Unicamp-SP)

Um conjunto de placas de aquecimento solar eleva a temperatura da água de um reservatório de 500 litros de 20 °C para 47 °C em algumas horas. Se no lugar das placas solares fosse usada uma resistência elétrica, quanta energia elétrica seria consumida para produzir o mesmo aquecimento? Adote 1,0 kg/litro para a densidade e 4,0 kJ/(kg · °C) para o calor específico da água. Além disso, use 1 kWh = 10³ W · 3 600 s = 3,6 · 10⁶ J.

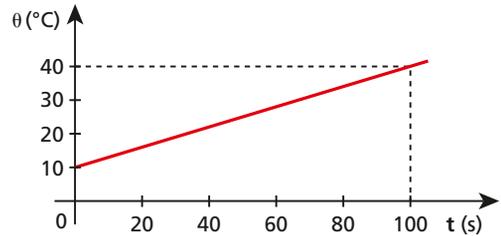
- a) 15 kWh.
- b) 26 kWh.
- c) 40 000 kWh.
- d) 54 000 kWh.





21. Em uma pequena estufa, improvisada com uma caixa de papelão, são utilizadas duas lâmpadas para o aquecimento. Uma delas de 100 W e a outra de 60 W. Se o percentual de energia convertida em térmica é de 90%, qual a quantidade de calor, em joules, transferida à estufa em meia hora? Dê a resposta usando a notação científica, com apenas uma casa decimal.

22. O gráfico mostra o aquecimento de um bloco de ferro de massa 500 g. O calor específico do ferro é igual a $0,12 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$.

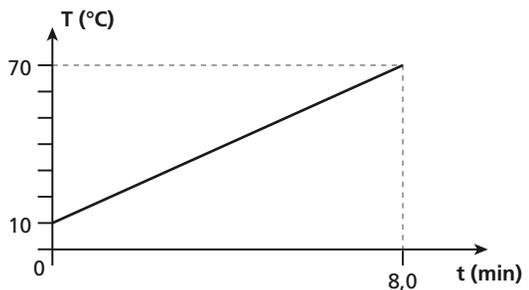


Banco de imagens/Arquivo da editora

Qual a potência dessa fonte térmica, sabendo que seu rendimento foi de 50%?

23. (Vunesp)

O gráfico mostra o aumento de temperatura de 450 g de água, em função do tempo, enquanto recebe de uma fonte 4000 cal/min.



Banco de imagens/Arquivo da editora

Considerando que o calor específico da água é constante na faixa de temperatura especificada e vale $1,0 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$, a quantidade de calor, em calorias, perdida para o ambiente durante os 8,0 minutos de aquecimento foi de

a) 4000. b) 6000. c) 3000. d) 5000.

24. (FMABC-SP)

O número aproximado de calorias a serem fornecidas a um cubo de ferro com 1 cm de aresta, para que a temperatura do cubo varie de 59°F a 338 K, é:

a) 408 b) 1877 c) 70 d) 187 e) 44

Dados: Densidade do ferro 8000 kg/m^3

Calor específico do ferro $460 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$

$1 \text{ cal} = 4,2 \text{ J}$

25. (Fameca-SP)

Um morador da Região Sul do País comprou um chuveiro elétrico de potência 3200 W e ficou decepcionado porque, no inverno, a água não esquentava o suficiente. Considerando-se a densidade e o calor específico sensível da água iguais a 1,0 g/mL e 4,0 J/g · °C, respectivamente, supondo-se que a vazão do chuveiro seja 50 mL/s e que toda a potência dissipada no chuveiro seja transferida para a água na forma de calor, a máxima variação de temperatura da água, em °C, que se pode obter com esse chuveiro é

- a) 5,0 b) 8,0 c) 12,0 d) 16,0 e) 20,0

26. (Fuvest-SP)

No início do século XX, Pierre Curie e colaboradores, em uma experiência para determinar características do recém-descoberto elemento químico rádio, colocaram uma pequena quantidade desse material em um calorímetro e verificaram que 1,30 grama de água líquida ia do ponto de congelamento ao ponto ebulição em uma hora. A potência média liberada pelo rádio nesse período tempo foi, aproximadamente:

- a) 0,06 W c) 0,14 W e) 0,22 W
b) 0,10 W d) 0,18 W

Note e adote:

Calor específico da água: 1 cal/(g · °C)

1 cal = 4 J

Temperatura de congelamento da água: 0 °C

Temperatura de ebulição da água: 100 °C

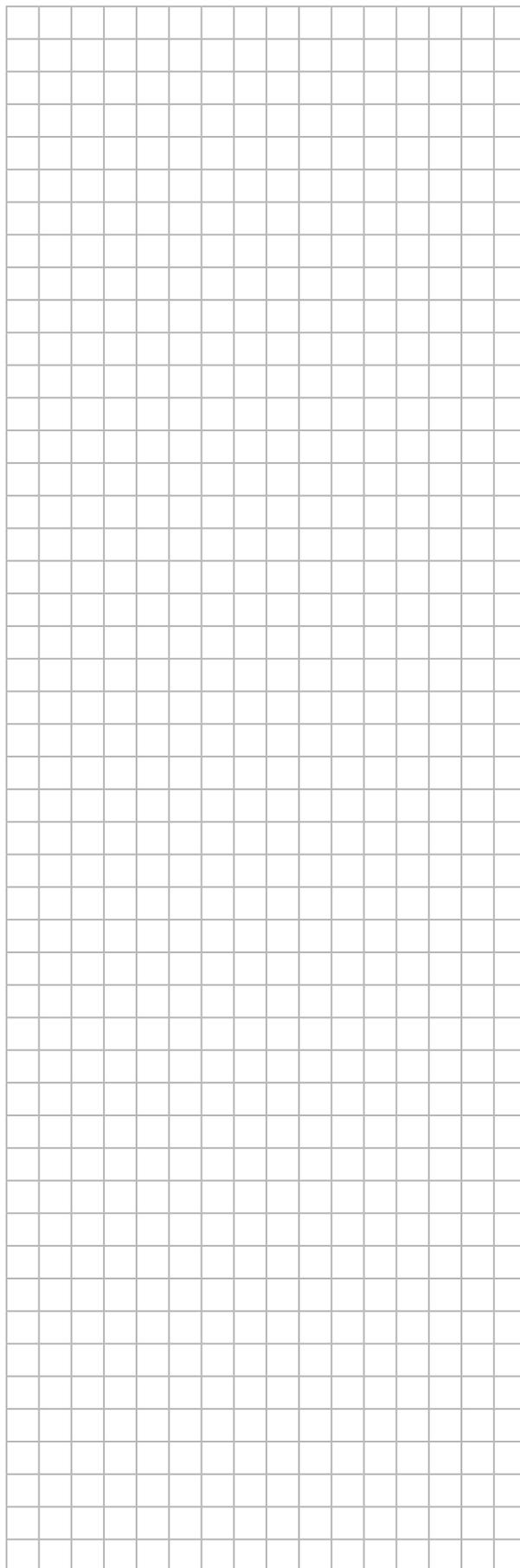
Considere que toda energia emitida pelo rádio foi absorvida pela água e empregada exclusivamente para elevar sua temperatura.

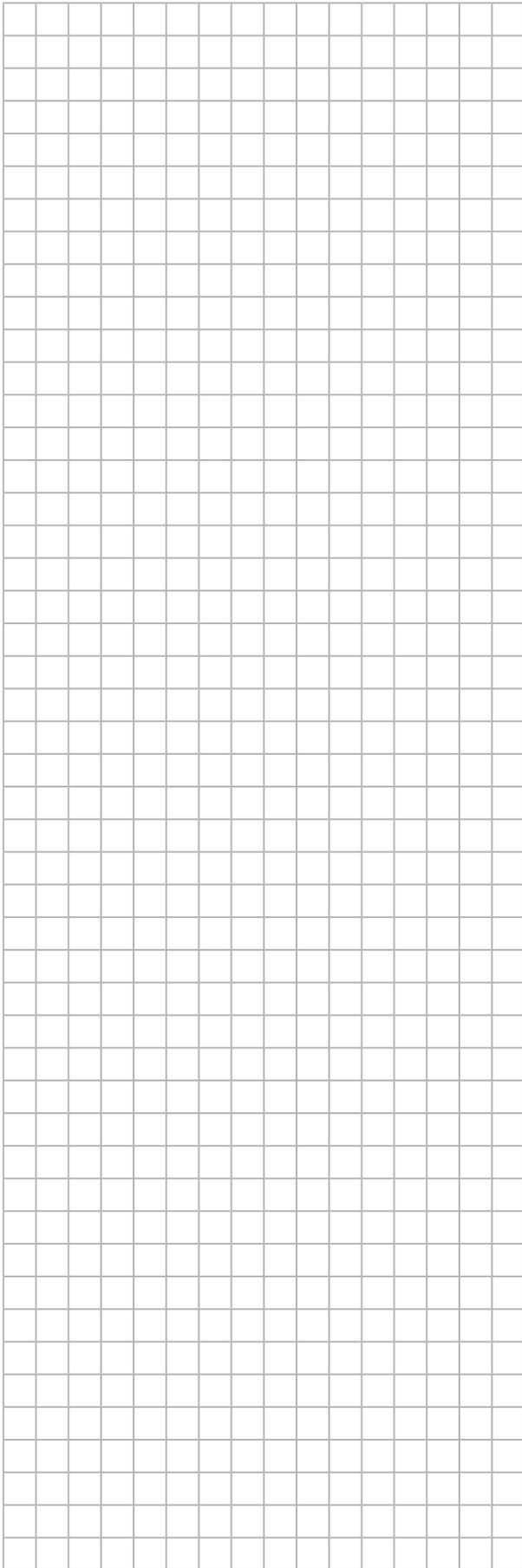
27. (Vunesp)

Para higienizar e esterilizar os instrumentos de manipulação, o dentista os mantém em fornos elétricos, em cujo interior a temperatura é mantida a cerca de 220 °C.

Considere 1 cal = 4 J e que o conjunto de instrumentos (pinça, sonda exploradora, escavador, *hollemback*, etc.), feitos de uma liga metálica de calor específico 0,20 cal/(g · °C), tenham massa total de 250 g e estejam à temperatura ambiente de 20 °C, ao serem inseridos no forno. Se a potência útil do forno for de 1000 W, o conjunto de instrumentos entrará em equilíbrio com o interior do forno em um intervalo de tempo de

- a) 10 s. b) 20 s. c) 30 s. d) 40 s. e) 50 s.





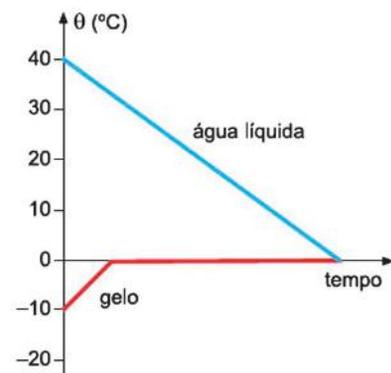
28. (UPM-SP)

Certo estudante, em um laboratório de Física, na Inglaterra, realizou uma experiência que envolvia trocas de calor. Durante uma parte do trabalho, teve de aquecer um corpo de massa 1,00 kg, constituído de uma liga de alumínio, cujo calor específico é $c = 0,215 \text{ cal}/(\text{g} \cdot ^\circ\text{C})$. A temperatura do corpo variou de 212°F até 392°F . Considerando que $1 \text{ caloria} = 4,2 \text{ J}$, a energia térmica recebida por esse corpo foi aproximadamente:

- a) 160 kJ c) 40 kJ e) 9 kJ
b) 90 kJ d) 16 kJ

29. (UEFS-BA)

Dentro de um recipiente termicamente isolado há 4 L de água líquida, a 40°C . Um bloco de gelo de 6 kg, a -10°C , é colocado dentro desse mesmo recipiente, que em seguida é fechado. Depois de determinado intervalo de tempo, quando o equilíbrio térmico foi atingido dentro do recipiente, ele é aberto e verifica-se que nem todo o gelo derreteu. O gráfico representa como variaram as temperaturas (θ) das substâncias envolvidas nesse experimento, em função do tempo (t).



Reprodução/UEFS, 2017

calor específico da água líquida	$1 \text{ cal}/\text{g} \cdot ^\circ\text{C}$
calor específico do gelo	$0,5 \text{ cal}/\text{g} \cdot ^\circ\text{C}$
calor latente de fusão do gelo	$80 \text{ cal}/\text{g}$
densidade da água líquida	$1 \text{ kg}/\text{L}$

Considere as informações contidas no gráfico e na tabela, admita que o experimento foi realizado no nível do mar e que só houve troca de calor entre a água que estava inicialmente no recipiente e o bloco de gelo introduzido. Após o estabelecimento do equilíbrio térmico, haverá, dentro do recipiente, uma massa de água líquida igual a:

- a) 5 625 g. c) 5 000 g. e) 5 225 g.
b) 4 750 g. d) 4 375 g.

30. O gasto calórico no exercício da atividade física de corrida é uma função de diversas variáveis, porém a fórmula simplificada pode indicar uma estimativa desse gasto.

$$\text{Gasto calórico (em calorias por hora)} = \text{velocidade da corrida (em km/h)} \cdot \text{massa do indivíduo (em kg)}$$

Considere que, no exercício da corrida, o consumo de oxigênio, que em repouso é de 3,5 mL por quilograma de massa corporal por minuto, seja multiplicado pela velocidade (em km/h) do corredor.

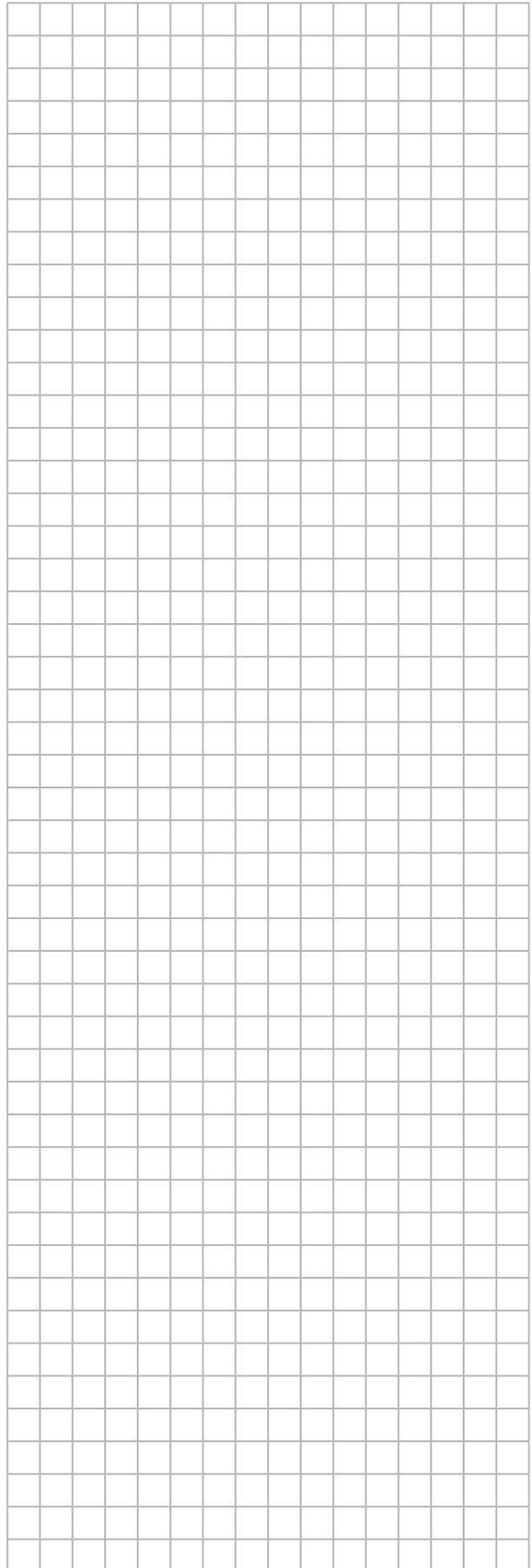
- a) Turíbio tem massa de 72 kg e pratica 25 minutos de corrida por dia com velocidade constante de 8 km/h. Calcule o gasto calórico diário de Turíbio com a prática dessa atividade.
- b) Seja c o consumo de litros de oxigênio em uma hora de corrida de um indivíduo de massa m (em kg) em velocidade constante v (em km/h). Calcule o valor da constante $\frac{c}{m \cdot v}$ na prática de uma hora de corrida desse indivíduo.

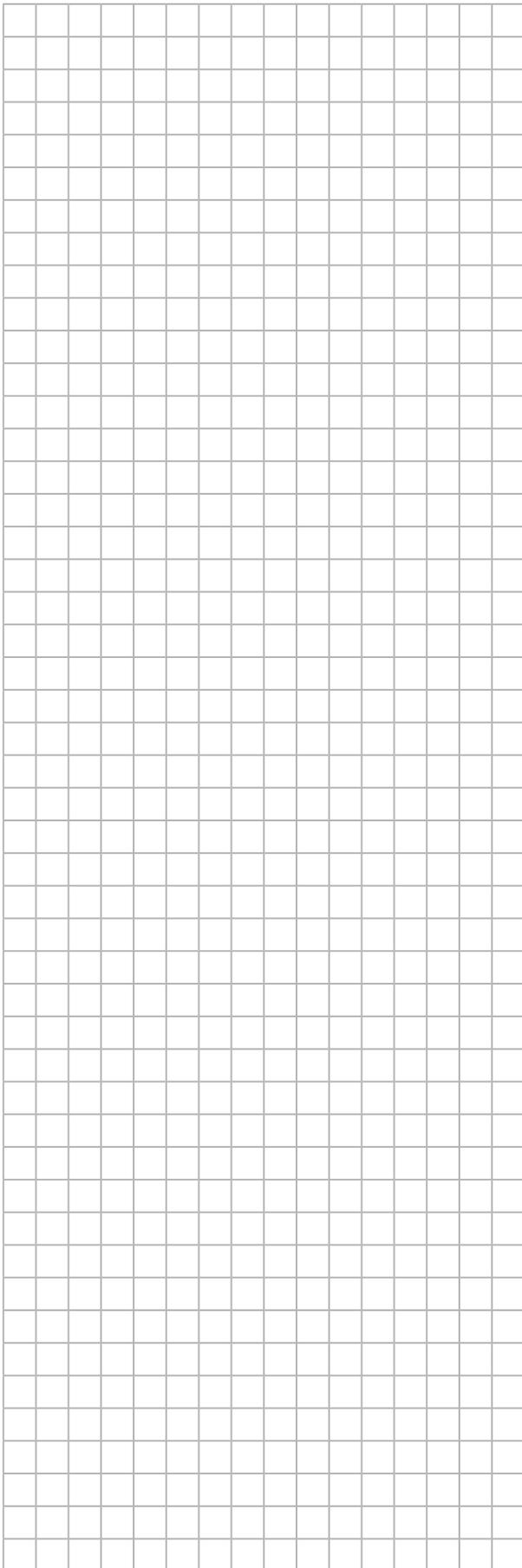
31. (Vunesp)

Um coletor solar tem uma área de $2,0 \text{ m}^2$, rendimento de 60% e fornece energia para 200 kg de água contida em um reservatório termicamente isolado. Considerando-se que a intensidade de radiação solar na região, em determinado período do dia, é de 700 W/m^2 , que o calor específico da água é igual a $4,2 \cdot 10^3 \text{ J/(kg} \cdot \text{°C)}$ e que toda a energia útil recolhida pelo coletor seja transferida integralmente para a água no reservatório, é correto afirmar que uma variação de temperatura sofrida pela água, em °C , no intervalo de uma hora será igual a

- a) 3,6 c) 7,2 e) 12,0
b) 6,0 d) 9,0

32. Um jovem lança um bloco de alumínio de massa 80 g, cuja temperatura inicial é de 20 °C , sobre uma superfície áspera. O coeficiente de atrito dinâmico entre a base do bloco e a superfície vale 0,3. O bloco no momento em que se separou da mão do garoto tinha velocidade inicial de 10 m/s e deslizou por 3,33 s até parar. Suponha que toda a energia desse movimento tenha sido convertida em energia térmica e que 20% dela tenha sido absorvida pela superfície de deslizamento.





A variação de temperatura do bloco, na escala Fahrenheit, será de:

Calor específico do alumínio = $0,2 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$

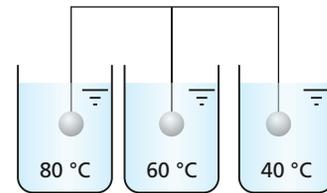
- a) $0,05^\circ\text{F}$ c) 4°F e) 16°F
b) $0,09^\circ\text{F}$ d) $7,2^\circ\text{F}$

Para simplificação dos cálculos, adote:

$$g = 10 \text{ m/s}^2$$

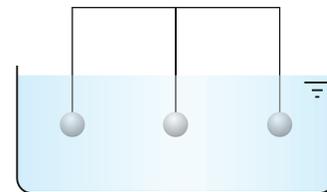
$$1 \text{ cal} = 4 \text{ J}$$

33. Três esferas de mesma massa e de mesmo material, suspensas por fios isolados termicamente, estão imersas em três banhos térmicos cujas temperaturas estão mencionadas na figura abaixo.



Banco de imagens/
Arquivo da editora

Após atingidos os equilíbrios térmicos, essas esferas são simultânea e rapidamente retiradas e levadas para um recipiente com água a 20°C .



Banco de imagens/
Arquivo da editora

Desprezando-se possíveis perdas de energia para o meio ambiente, a temperatura final desse banho térmico único será:

- a) um valor maior que 80°C .
b) um valor entre 60°C e 20°C .
c) 60°C .
d) 50°C .
e) um valor menor que 20°C .

34. (Enem)

Aquecedores solares usados em residências têm o objetivo de elevar a temperatura da água até 70°C . No entanto, a temperatura ideal da água para um banho é de 30°C . Por isso, deve-se misturar a água aquecida com a água à temperatura ambiente de um outro reservatório, que se encontra a 25°C . Qual a razão entre a massa de água quente e a massa de água fria na mistura para um banho à temperatura ideal?

- a) 0,111 d) 0,428
b) 0,125 e) 0,833
c) 0,357

35. (Vunesp)

Dois materiais A e B são colocados no interior de um calorímetro ideal, com as seguintes características:

	c [cal/(g · °C)]	θ (°C)	m (g)
A	0,2	80	10
B	0,4	-10	20

Uma vez isoladas do meio exterior e não havendo mudança de estado físico, tais materiais atingirão o equilíbrio térmico na seguinte temperatura.

- a) 10 °C d) 16 °C
 b) 8 °C e) 18 °C
 c) 12 °C

36. A sopa de pedra é um incrementado prato da culinária portuguesa em que uma pedra é colocada na panela junto com os ingredientes. Para fazer essa sopa no litoral, uma pessoa coloca uma pedra de 500 g em uma panela contendo 2 litros de água, aquecendo a partir de 20 °C até atingir a fervura, a 100 °C. Considere que o calor específico da água seja 1 cal/(g · °C), que o calor específico da pedra seja 0,2 cal/(g · °C), que a densidade da água seja 1000 g/L e que as perdas de calor para o meio e a capacidade térmica da panela sejam desprezíveis. A quantidade de calor necessária para que o conjunto água-pedra atinja a fervura é igual a

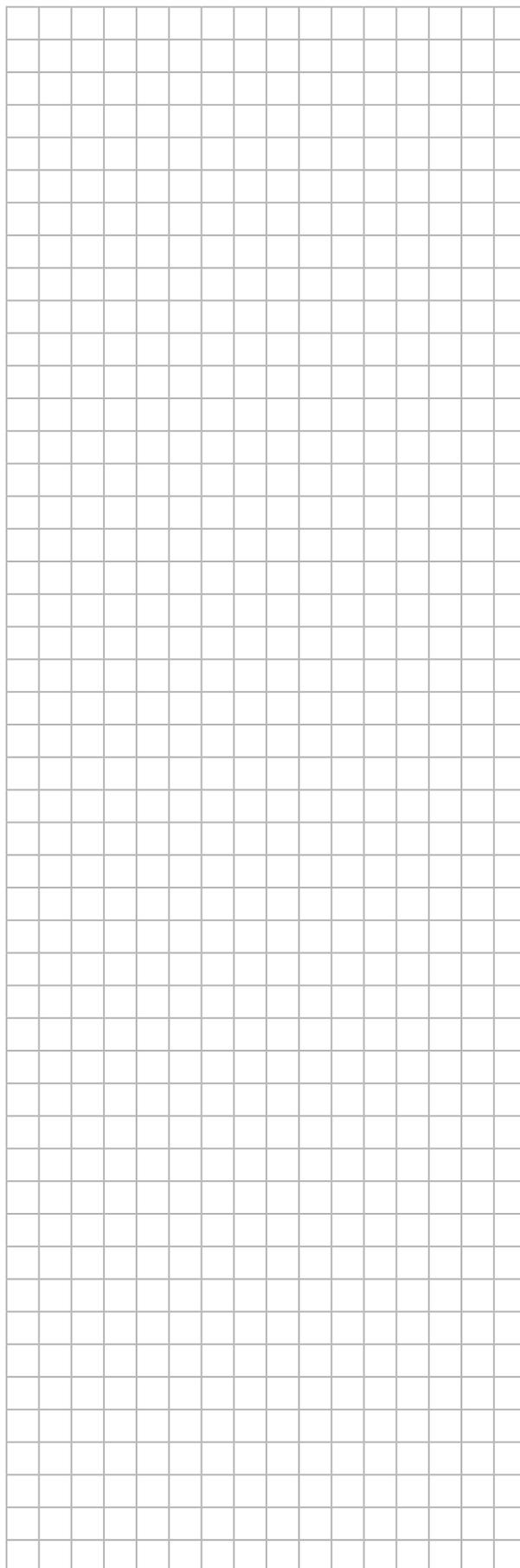
- a) 240 kcal d) 132 kcal
 b) 168 kcal e) 116 kcal
 c) 80 kcal

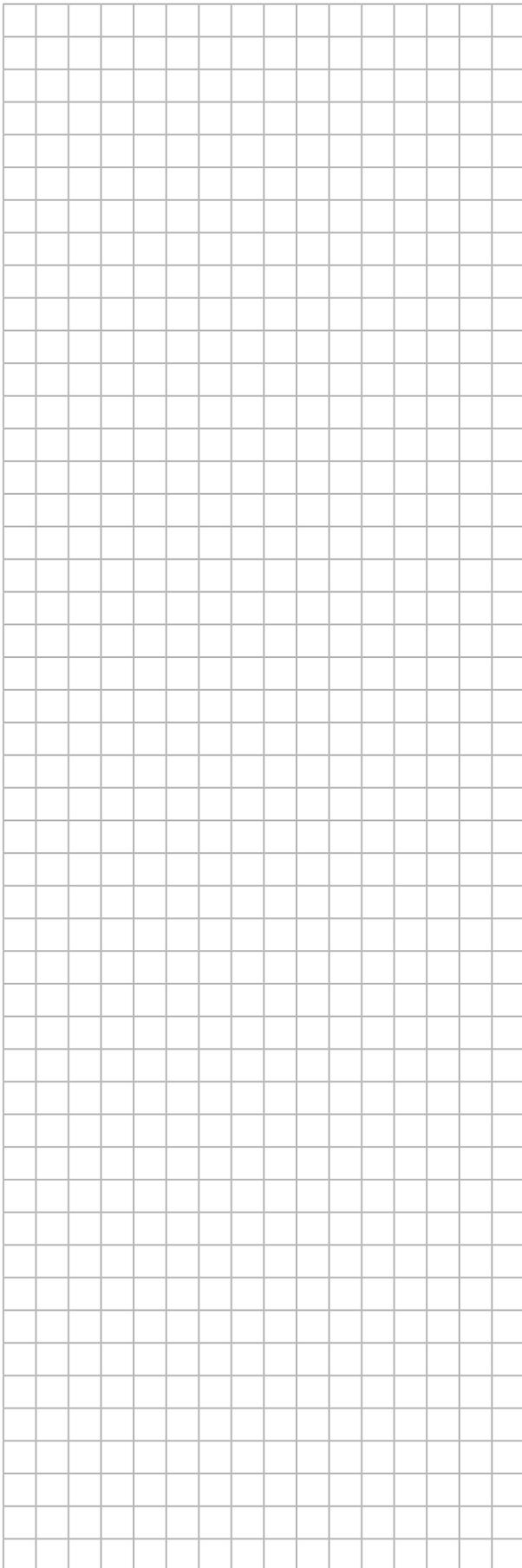
37. (PUC-RJ)

Uma barra metálica, que está sendo trabalhada por um ferreiro, tem uma massa $M = 2,0$ kg e está a uma temperatura T_i . O calor específico do metal é $c_m = 0,10$ cal/g · °C. Suponha que o ferreiro mergulhe a barra em um balde contendo 10 litros de água a 20 °C. A temperatura da água do balde sobe 10 °C com relação a sua temperatura inicial ao chegar ao equilíbrio. Calcule a temperatura inicial T_i da barra metálica.

Dados: $c_{\text{água}} = 1,0$ cal/g · °C e $d_{\text{água}} = 1,0$ g/cm³

- a) 500 °C d) 730 °C
 b) 220 °C e) 530 °C
 c) 200 °C





38. (Vunesp)
Dentro de uma caneca de cobre de 100 g a 20 °C são colocados 190 g de café a 80 °C. Considere o calor específico do café e do cobre iguais a 1 cal/(g · °C) e 0,1 cal/(g · °C), respectivamente. Desprezando as perdas de calor para o ambiente, a temperatura final do conjunto, depois que a caneca e o café entram em equilíbrio térmico, é igual a
- a) 74 °C c) 77 °C e) 73 °C
b) 76 °C d) 75 °C

39. (PUC-SP)
Uma xícara contém 300 mL de café a 60 °C. Qual a quantidade, em mL, de leite frio, cuja temperatura é de 10 °C, que devemos despejar nessa xícara para obtermos uma mistura de café com leite a 40 °C?



Reprodução/PUC-SP, 2017

www.aguadoce.com.br

- Considere as trocas de calor apenas entre o café e o leite, seus calores específicos iguais e suas densidades iguais a 1 g/cm³
- a) 15 b) 20 c) 25 d) 35
40. Com o propósito de reduzir a temperatura de um cafezinho, um indivíduo insere na bebida uma colherzinha feita de alumínio. Os valores do cafezinho e da colherzinha são:

	Cafezinho	Colherzinha
Massa	-	20 g
Volume	10 cm ³	-
Densidade	1,2 g/cm ³	-
Temperatura inicial	80 °C	20 °C
Calor específico	1,0 cal/(g · °C)	0,2 cal/(g · °C)

Supondo que a troca de calor só ocorra entre o cafezinho e a colherzinha, qual a temperatura de equilíbrio térmico atingida por ambos?

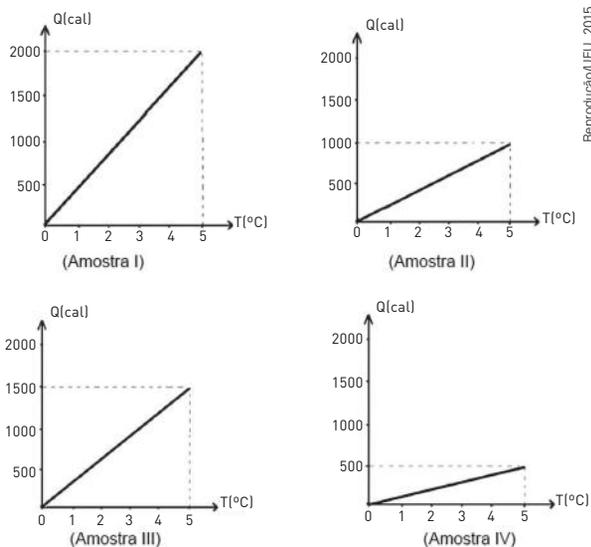
41. (Famerp-SP)

Para realizar um experimento no litoral, um cientista precisa de 8 litros de água a 80 °C. Como não dispõe de um termômetro, decide misturar uma porção de água 0 °C com outra a 100 °C. Ele obtém água a 0 °C a partir de uma mistura, em equilíbrio térmico, de água líquida com gelo fundente, e água a 100 °C, a partir de água em ebulição. Considerando que haja troca de calor apenas entre as duas porções de água, os volumes, em litros de água a 0 °C e de água a 100 °C que o cientista deve misturar para obter água a 80 °C são iguais, respectivamente, a

- a) 1,6 e 6,4 c) 4,0 e 4,0 e) 5,2 e 2,8
 b) 3,2 e 4,8 d) 2,4 e 5,6

42. (UFU-MG)

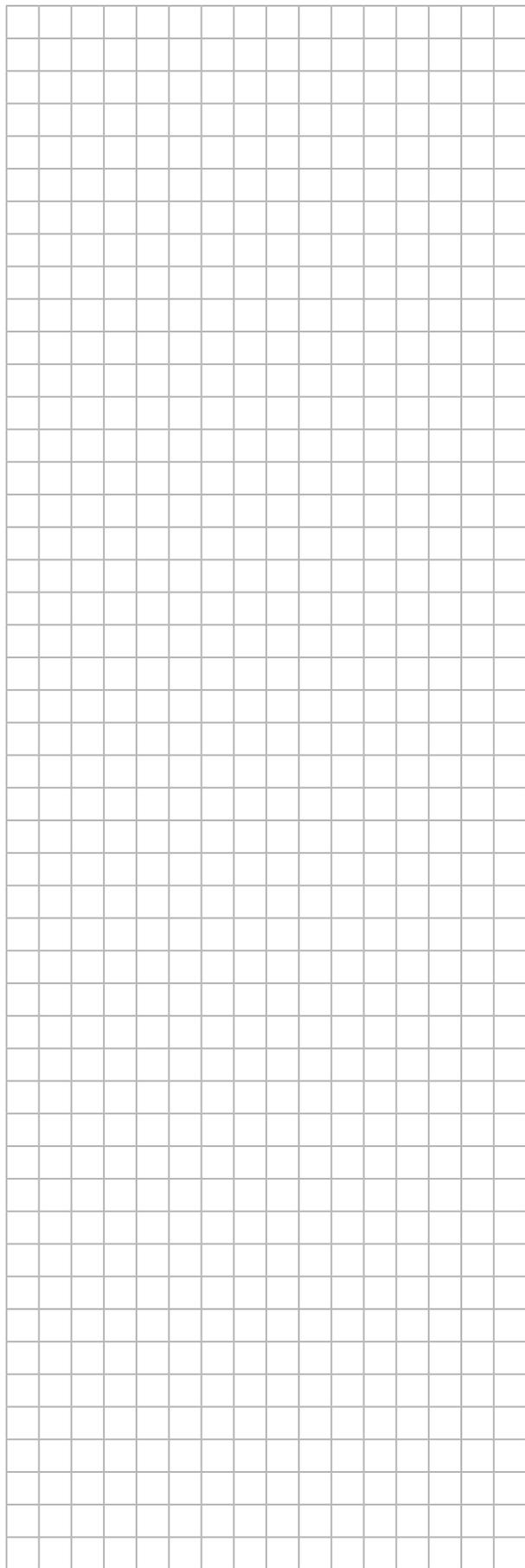
Em um laboratório, dispõe-se de quatro amostras de ligas de materiais diferentes, cada uma com massa de 500 g. Quando essas amostras são aquecidas, suas temperaturas variam conforme os gráficos a seguir:

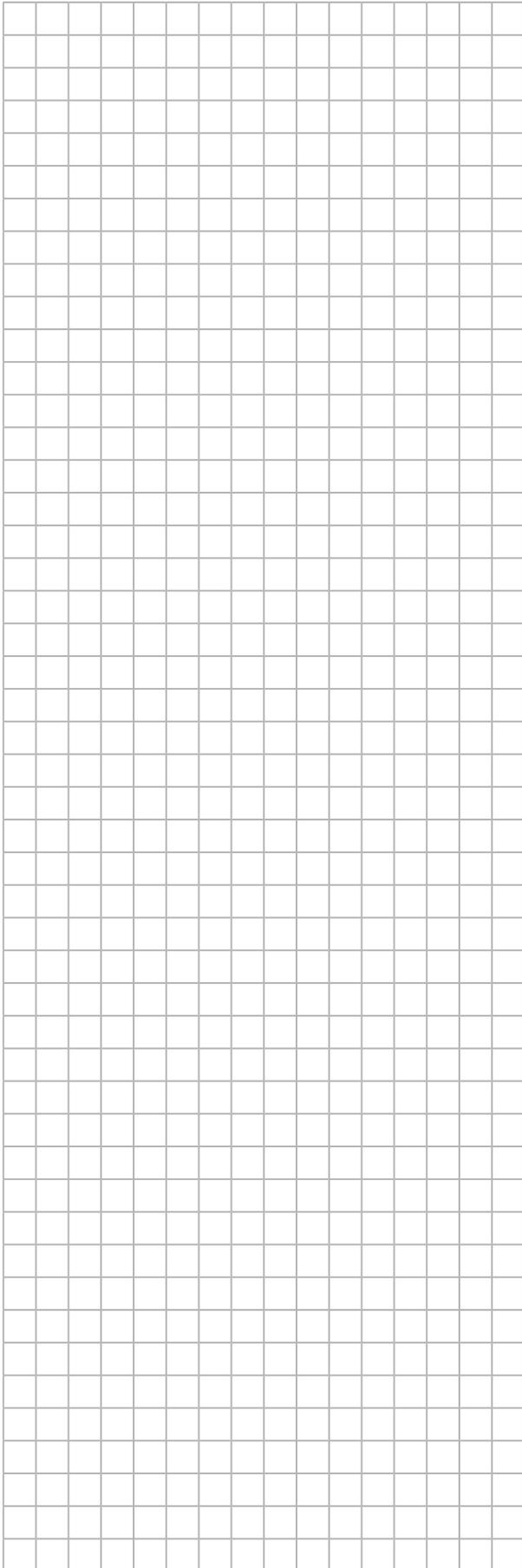


Na realização de um experimento, foi tomada uma dessas amostras, que estava inicialmente à temperatura de 25 °C, e mergulhada em uma porção de 200 g de água pura, à temperatura inicial de 10 °C. Aguardou-se o equilíbrio térmico, que ocorreu à temperatura de 20 °C, desprezando-se perdas de calor entre os corpos e o meio. Considere que o calor específico sensível de água é 1,0 cal/g°C.

A partir da situação descrita, é correto afirmar que a amostra usada foi a

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





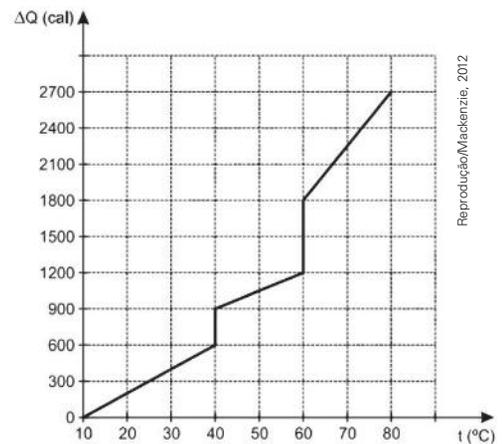
43. (SBF)

No laboratório de Física, uma aluna fez uma experiência em que colocava um bloco de gelo ($-5,0\text{ }^{\circ}\text{C}$) dentro de um Becker. Em seguida ela fornece calor ao sistema (Becker + gelo), utilizando-se da chama de um bico de Bunsen de potência constante. Ao longo da experiência, ela notou que o gelo começou a derreter. Tomando o termômetro ela aferiu novamente a temperatura do gelo, constatando que o gelo enquanto funde:

- a) Recebe calor, mas sua temperatura aumenta;
- b) Cede calor e sua temperatura aumenta;
- c) Cede calor e sua temperatura diminui;
- d) Recebe calor, mas sua temperatura permanece constante;
- e) Cede calor e sua temperatura permanece constante.

44. (UPM-SP)

Um estudante, no laboratório de Física de sua escola, forneceu calor a um corpo de massa 50 g , utilizando uma fonte térmica de potência constante. Com as medidas obtidas, construiu o gráfico abaixo, que representa a quantidade de calor ΔQ recebida pelo corpo em função de sua temperatura t .



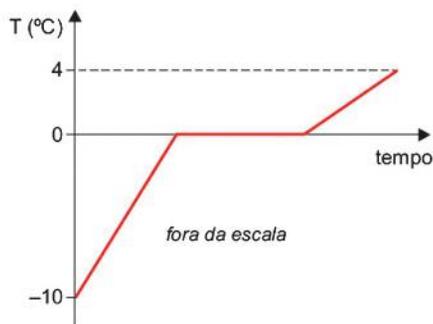
Analisando o gráfico, pode-se afirmar que o calor específico, no estado sólido e o calor latente de vaporização da substância que constitui o corpo, valem, respectivamente,

- a) $0,6\text{ cal}/(\text{g} \cdot ^{\circ}\text{C})$ e $12\text{ cal}/\text{g}$
- b) $0,4\text{ cal}/(\text{g} \cdot ^{\circ}\text{C})$ e $12\text{ cal}/\text{g}$
- c) $0,4\text{ cal}/(\text{g} \cdot ^{\circ}\text{C})$ e $6\text{ cal}/\text{g}$
- d) $0,3\text{ cal}/(\text{g} \cdot ^{\circ}\text{C})$ e $12\text{ cal}/\text{g}$
- e) $0,3\text{ cal}/(\text{g} \cdot ^{\circ}\text{C})$ e $6\text{ cal}/\text{g}$

45. (Unesp-SP)

Um bloco de gelo de massa 200 g, inicialmente à temperatura de $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, foi mergulhado em um recipiente de capacidade térmica $200\text{ cal}/^{\circ}\text{C}$ contendo água líquida a $24\text{ }^{\circ}\text{C}$. Após determinado intervalo de tempo, esse sistema entrou em equilíbrio térmico à temperatura de $4\text{ }^{\circ}\text{C}$.

O gráfico mostra como variou a temperatura apenas do gelo, desde sua imersão no recipiente até ser atingido o equilíbrio térmico.



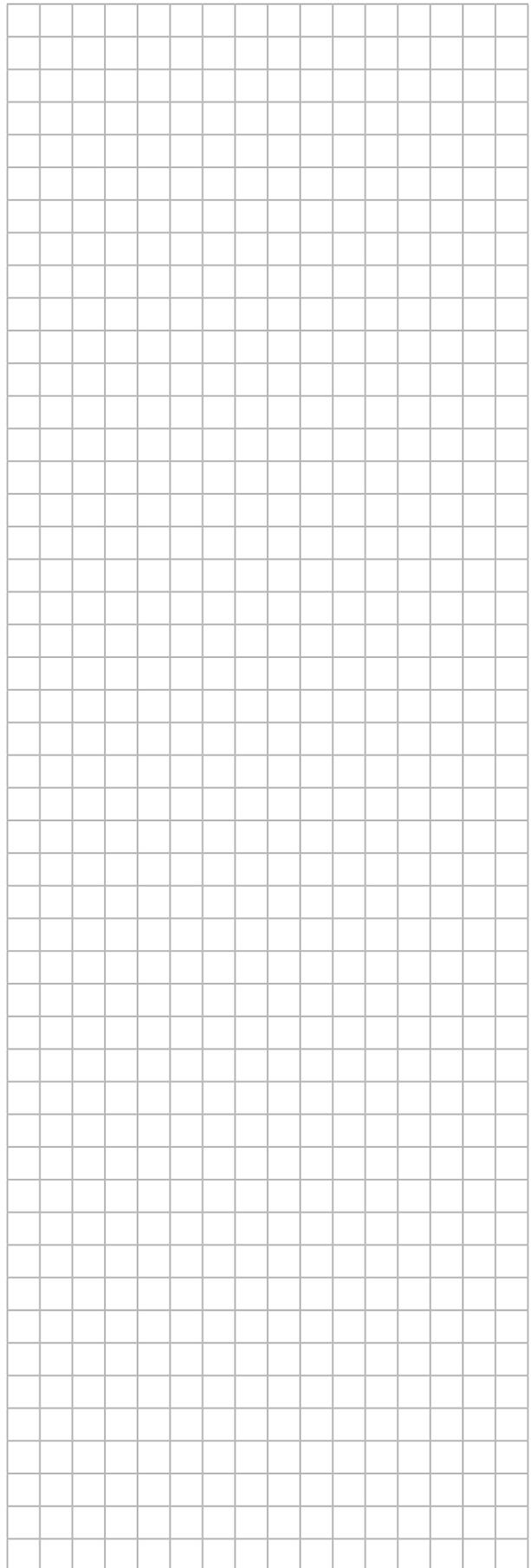
Calor específico da água líquida	$1\text{ cal/g} \cdot ^{\circ}\text{C}$
Calor específico do gelo	$0,5\text{ cal/g} \cdot ^{\circ}\text{C}$
Calor latente de fusão do gelo	80 cal/g

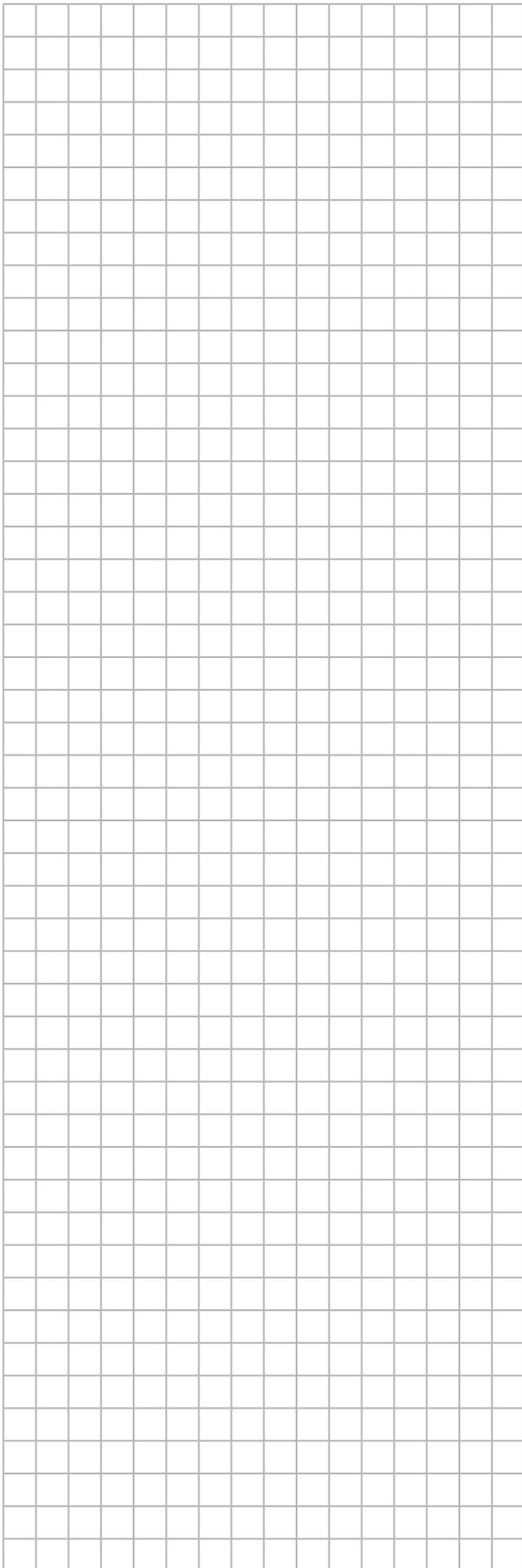
Considerando as informações contidas no gráfico e na tabela, que o experimento foi realizado ao nível do mar e desprezando as perdas de calor para o ambiente, calcule a quantidade de calor absorvido pelo bloco de gelo, em calorias, desde que foi imerso na água até ser atingido o equilíbrio térmico, e calcule a massa de água líquida contida no recipiente, em gramas, antes da imersão do bloco de gelo.

46. Em um recipiente termicamente isolado de capacidade térmica $40,0\text{ cal}/^{\circ}\text{C}$ e na temperatura de $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ são colocados 600 g de gelo a $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ e uma garrafa parcialmente cheia, contendo 2,0 L de refrigerante a $25\text{ }^{\circ}\text{C}$, sob pressão normal.

Considerando a garrafa com capacidade térmica desprezível e o refrigerante com características semelhantes às da água, isto é, calor específico na fase líquida $1,0\text{ cal/g} \cdot ^{\circ}\text{C}$ e na fase sólida $0,5\text{ cal/g} \cdot ^{\circ}\text{C}$, calor latente de fusão de $80,0\text{ cal/g} \cdot ^{\circ}\text{C}$, bem como densidade absoluta na fase líquida igual a $1,0\text{ g/cm}^3$, a temperatura final de equilíbrio térmico do sistema, em $^{\circ}\text{C}$, é:

- a) $-3,0$ b) $0,0$ c) $3,0$ d) $5,0$





47. (CPAEN-RJ)

Uma garrafa de cobre com 400 g de massa, contendo (e em equilíbrio térmico com) uma certa quantidade de água 20 °C, foi posta em contato com anidrido sulfuroso à temperatura de -10 °C. Num dado instante, verificou-se que foram vaporizados 640 g de anidrido sulfuroso sem alteração de sua temperatura e que foi congelada metade da água inicialmente presente na garrafa. Sendo assim, pode-se afirmar que a massa de água inicialmente existente na garrafa era:

- a) 0,76 kg
- b) 0,85 kg
- c) 1,0 kg
- d) 1,5 kg
- e) 3,0 kg

Dados:

Calor latente de fusão do gelo $L_F = 80 \text{ cal/g}$

Calor latente de vaporização do anidrido sulfuroso $L_v = 95 \text{ cal/g}$

Calor específico do cobre $c_{Cu} = 0,1 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$

48. (UFTM-MG)

Em uma choperia, o chope é servido à razão de 1 litro por minuto. Em um dia, cuja temperatura é de 24,5 °C, a bebida é introduzida na serpentina da chopeira à temperatura ambiente e, dela, sai a 4 °C. A capacidade da chopeira é de 20 kg de gelo, colocado sobre a serpentina a 24 °C ($c_{\text{gelo}} = 0,5 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$ e $L_f = 80 \text{ cal/g}$). Considere $d_{\text{chope}} = 1,0 \text{ g/cm}^3$ e $c_{\text{chope}} = 1,0 \text{ cal/(g} \cdot ^\circ\text{C)}$.



Reprodução/UFTM, 2012

Considerando que não há qualquer tipo de perda de energia térmica entre o meio ambiente e a chopeira, determine:

- a) a massa de gelo que se converte em água, para cada litro de chope retirado.
- b) o intervalo de tempo necessário para que se reponha o gelo, de modo a manter sempre a mesma temperatura final do chope.

49. (Enem)

Sabe-se que nas proximidades dos polos do planeta Terra é comum a formação dos *icebergs*, que são grandes blocos de gelo, flutuando nas águas oceânicas. Estudos mostram que a parte de gelo que fica emersa durante a flutuação corresponde a aproximadamente 10% do seu volume total. Um estudante resolveu simular essa situação introduzindo um bloquinho de gelo no interior de um recipiente contendo água, observando a variação de seu nível desde o instante de introdução até o completo derretimento do bloquinho.

Com base nessa simulação, verifica-se que o nível da água no recipiente

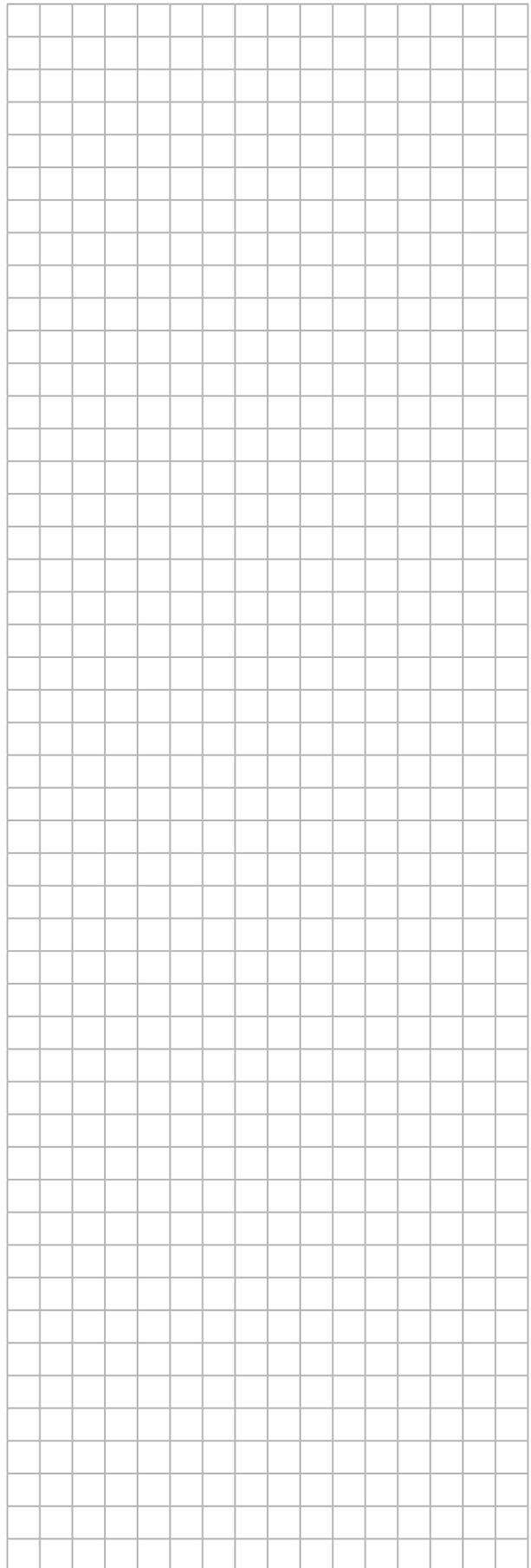
- a) subirá com a introdução do bloquinho de gelo e, após o derretimento total do gelo, esse nível subirá ainda mais.
- b) subirá com a introdução do bloquinho de gelo e, após o derretimento total do gelo, esse nível descera, voltando ao seu valor inicial.
- c) subirá com a introdução do bloquinho de gelo e, após o derretimento total do gelo, esse nível permanecerá sem alteração.
- d) não sofrerá alteração com a introdução do bloquinho de gelo, porém, após seu derretimento, o nível subirá devido a um aumento em torno de 10% no volume de água.
- e) subirá em torno de 90% do seu valor inicial com a introdução do bloquinho de gelo e, após seu derretimento, o nível descera apenas 10% do valor inicial.

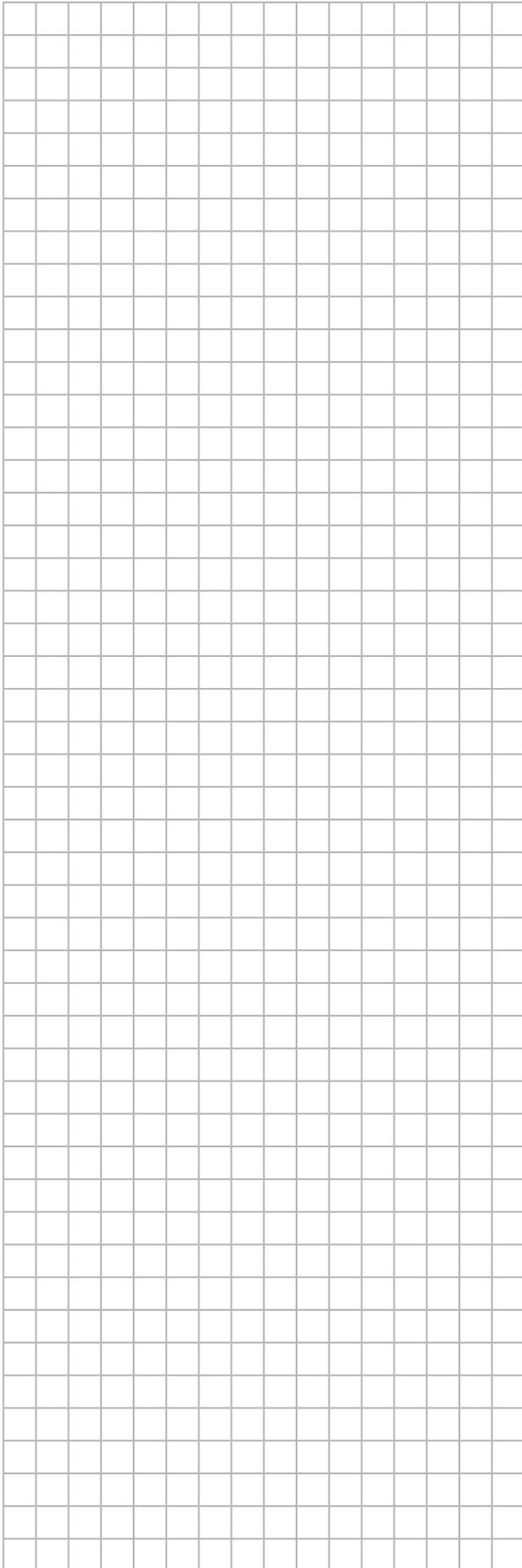
50. (Enem)

A elevação da temperatura das águas de rios, lagos e mares diminui a solubilidade do oxigênio, pondo em risco as diversas formas de vida aquática que dependem desse gás. Se essa elevação de temperatura acontece por meios artificiais, dizemos que existe poluição térmica. As usinas nucleares, pela própria natureza do processo de geração de energia, podem causar esse tipo de poluição.

Que parte do ciclo de geração de energia das usinas nucleares está associada a esse tipo de poluição?

- a) Fissão do material radioativo.
- b) Condensação do vapor de água no final do processo.
- c) Conversão de energia das turbinas pelos geradores.
- d) Aquecimento da água líquida para gerar vapor de água.
- e) Lançamento do vapor de água sobre as pás das turbinas.





51. (Fepar-PR)

Considere as principais características de clima e relevo que interferem nos recursos hídricos do Brasil e julgue as afirmativas.

- a) No pico da Neblina, localizado no norte do Amazonas, a altitude é de quase 3000 m e a pressão atmosférica é menor que no nível do mar. Nessas altitudes a velocidade de evaporação da água é menor, o que favorece sua preservação em estado líquido.
- b) Uma panela de pressão, no Rio de Janeiro, ao nível do mar, é usada para acelerar o cozimento de alimentos e economizar gás, pois a água em seu interior entra em ebulição a uma temperatura maior do que 100 °C.
- c) Os lagos possuem uma extensa superfície de água em contato com a atmosfera; na falta de chuva secam rapidamente, porque quanto maior a área da superfície do líquido maior a velocidade de evaporação.
- d) Se o calor de vaporização da água no nível do mar é de 540 cal/g, então a quantidade de calor necessária para vaporizar 0,5 kg de água em uma cidade litorânea brasileira é de $1,08 \cdot 10^6$ cal.
- e) As cisternas têm um papel importante no aproveitamento de águas pluviais. Em regiões secas do Brasil, recomenda-se que sejam enterradas no solo ou na areia, para que fiquem isoladas das grandes variações de temperatura ambiente, comuns por causa da baixa umidade do ar dessas regiões.

52. Certa massa de gás ideal, inicialmente nas Condições Normais de Temperatura e Pressão(CNTP), $T = 0\text{ °C} = 273\text{ K}$ e $p = 1,0\text{ atm}$, sofre uma transformação isobárica e aumenta seu volume em 80%. Em graus Celsius, qual foi a variação de temperatura sofrida por esse gás?

53. (Vunesp)

Antes de iniciar um jogo de handebol, o árbitro verificou que a pressão do ar no interior da bola era de $1,20 \cdot 10^5$ Pa. Como esse valor deve ser de $1,44 \cdot 10^5$ Pa, o árbitro utilizou uma bomba para inserir mais ar na bola, até que o valor adequado da pressão fosse atingido. Após esse processo o volume da bola aumentou 5% e a temperatura do ar em seu interior permaneceu constante. Considerando o ar um gás ideal, é correto afirmar que o número de mols de ar no interior da bola aumentou:

- a) 32%
- b) 26%
- c) 38%
- d) 12%
- e) 20%

54. (PUC-SP)

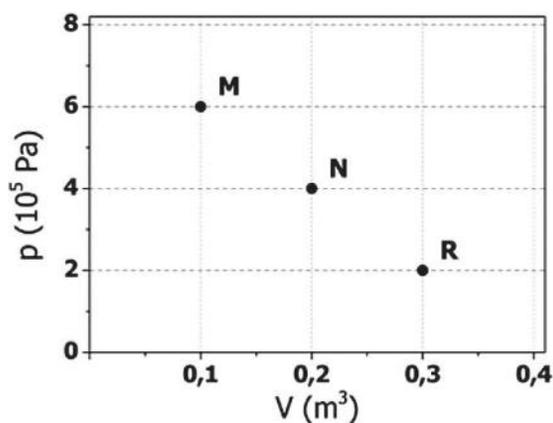
Uma determinada massa de gás perfeito está contida em um recipiente de capacidade 10,0 litros, sob pressão de 3,5 atm e temperatura inicial de 25,0 °C. Após sofrer uma transformação isocórica, sua pressão aumenta para 7,0 atm.

Determine a variação de temperatura da massa de gás, nas escalas Celsius e Fahrenheit, respectivamente, devido a essa transformação.

- a) 298 e 536,4. c) 323 e 581,4.
 b) 298 e 568,4. d) 323 e 613,4.

55. (UFRGS-RS)

A figura abaixo apresenta um diagrama Pressão × Volume. Nele, os pontos M, N e R representam três estados de uma mesma amostra de gás ideal.

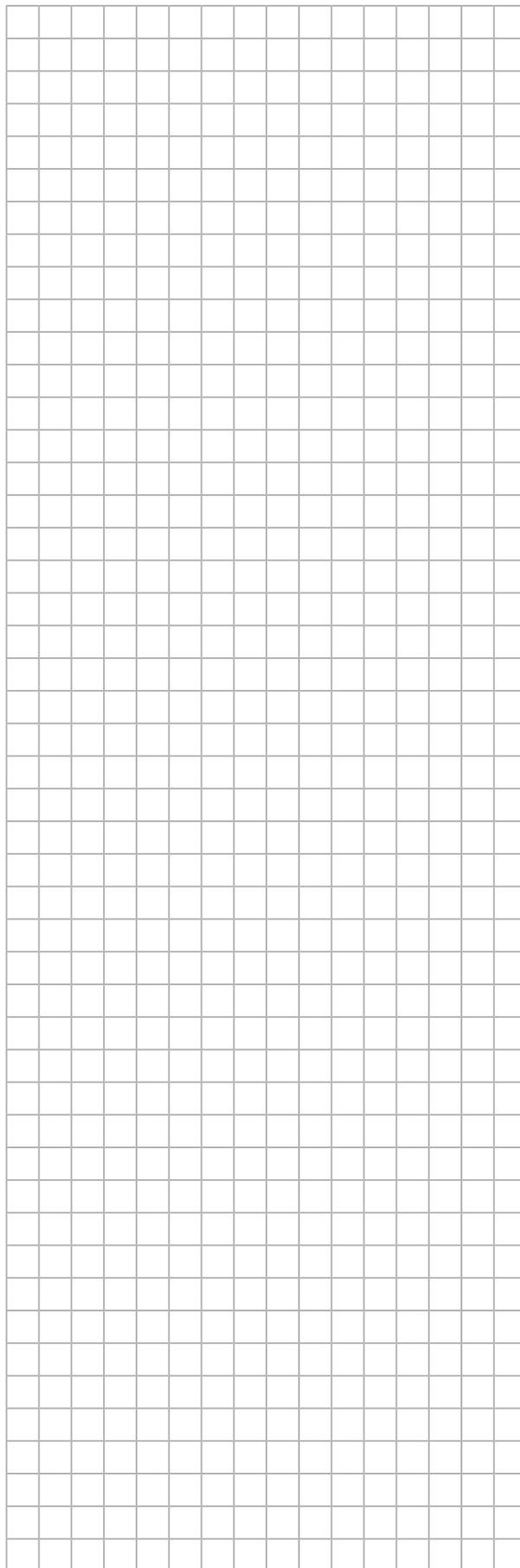


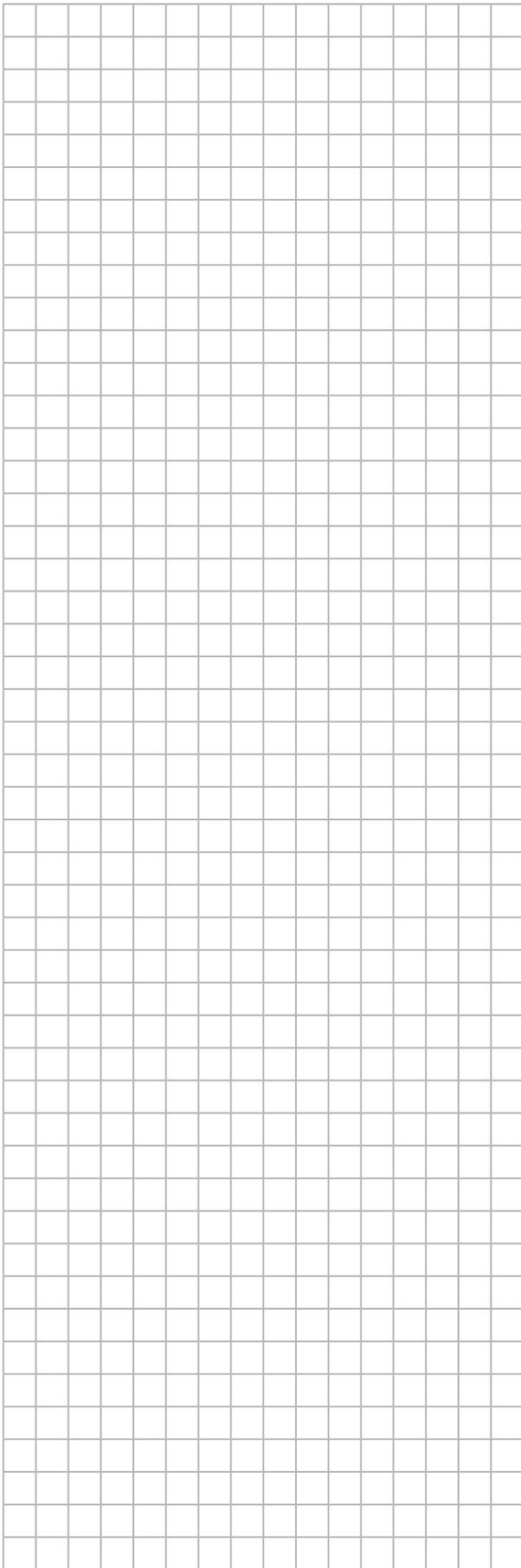
Assinale a alternativa que indica corretamente a relação entre as temperaturas absolutas T_M , T_N e T_R dos respectivos estados M, N e R.

- a) $T_R < T_M > T_N$.
 b) $T_R > T_M > T_N$.
 c) $T_R = T_M > T_N$.
 d) $T_R \leq T_M < T_N$.
 e) $T_R = T_M < T_N$.

56. (Uerj)

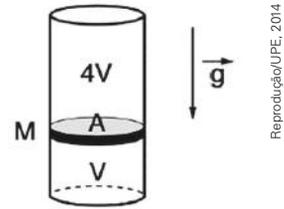
Um motorista estaciona seu carro completamente fechado sob o Sol. Nesse instante a temperatura no interior do carro é igual a 25 °C. Ao retornar, algum tempo depois, verifica que essa temperatura interna é igual a 35 °C. Considerando o ar como um gás perfeito, calcule a variação percentual da pressão, $\frac{\Delta P}{P}$ entre os dois momentos, no interior do carro.





57. (UPE)

Na figura a seguir, temos um êmbolo de massa M que se encontra em equilíbrio dentro de um recipiente cilíndrico, termicamente isolado e que está preenchido por um gás ideal de temperatura T .



Acima do êmbolo, o volume de gás é quatro vezes maior que o abaixo dele, e as massas de cada parte do gás bem como suas temperaturas são sempre idênticas. Se o êmbolo tiver sua massa dobrada e não houver variações nos volumes e nas massas de cada parte do gás, qual é a relação entre a nova temperatura, T' , e a anterior de maneira que ainda haja equilíbrio? Despreze o atrito.

- a) $T' = \frac{3T}{4}$
- b) $T' = \frac{T}{2}$
- c) $T' = T$
- d) $T' = 2T$
- e) $T' = 4T$

58. (CPAEN-RJ)

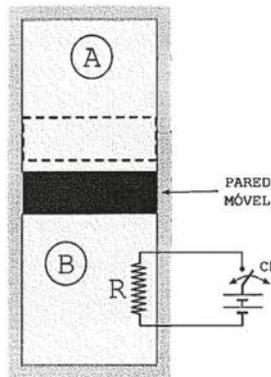


Fig. 1

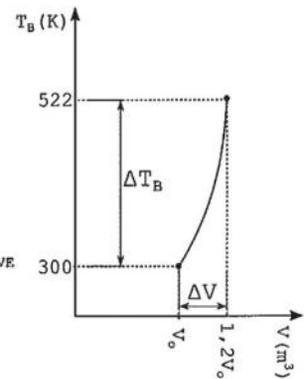
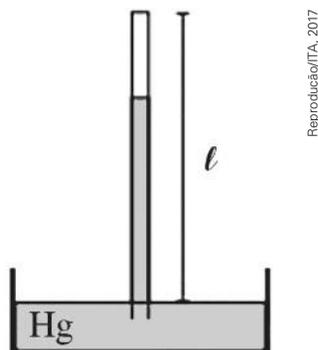


Fig. 2

O recipiente da Fig.1 possui as paredes externas e a parede móvel interna compostas de isolante térmico. Inicialmente, os compartimentos de mesmo volume possuem, cada um, um mol de certo gás ideal monoatômico na temperatura de 300 K. Então, por meio da fonte externa de calor, o gás do compartimento **B** (gás **B**) se expande lentamente comprimindo adiabaticamente o gás **A**.

- Ao fim do processo, estando o gás **B** na temperatura de 522 K e volume 20% maior que o volume inicial, a temperatura, em °C, do gás **A** será de
- a) 249 d) 75
 b) 147 e) 27
 c) 87

59. (ITA-SP)

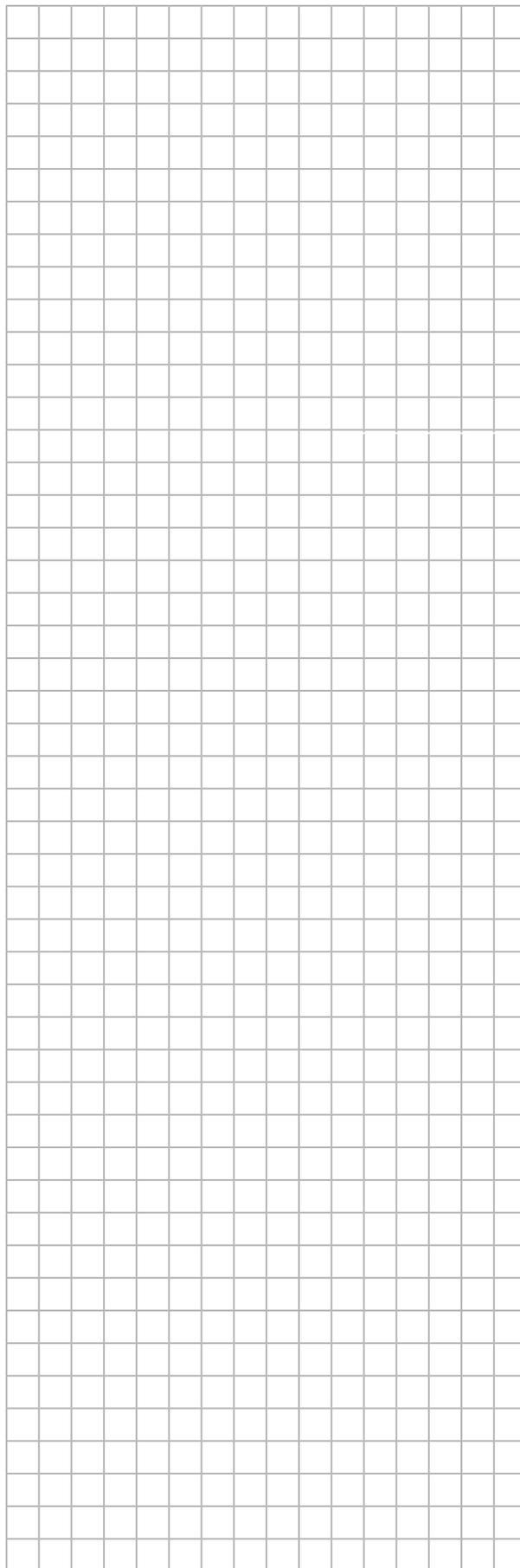


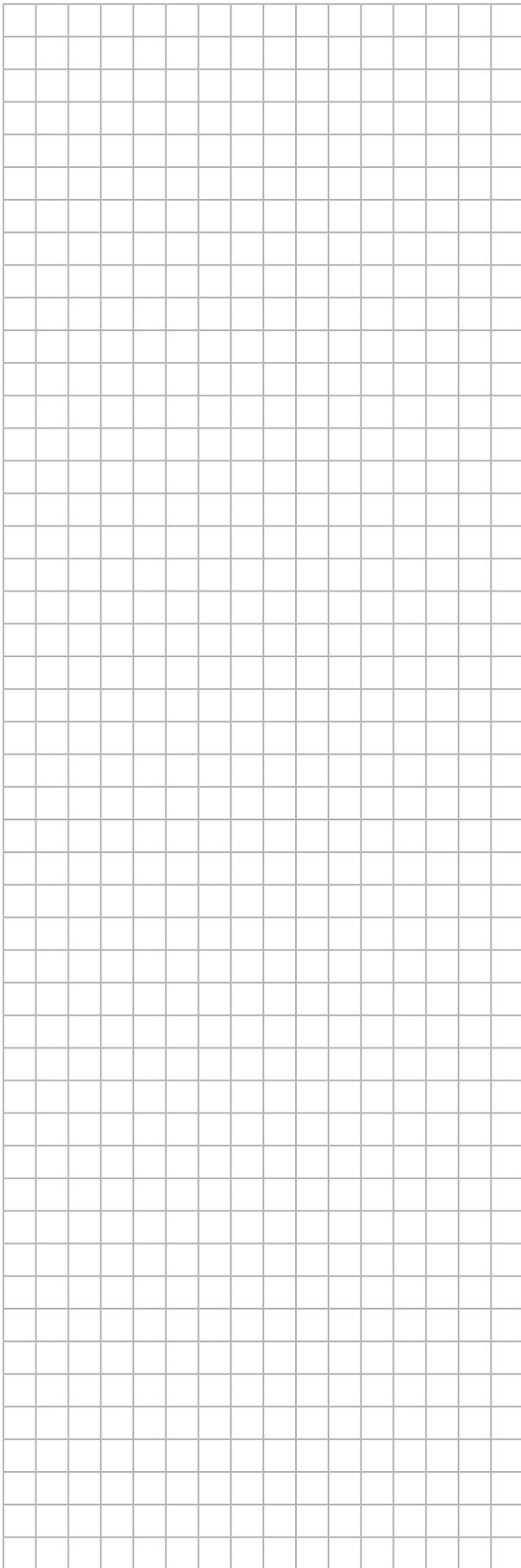
Em equilíbrio, o tubo emborcado da figura contém mercúrio e ar aprisionado. Com a pressão atmosférica de 760 mm de Hg a uma temperatura de 27 °C, a altura da coluna de mercúrio é de 750 mm. Se a pressão atmosférica cai a 740 mm de Hg a uma temperatura de 2 °C, a coluna de mercúrio é de 735 mm. Determine o comprimento ℓ aparente do tubo.

60. (Unicamp-SP)

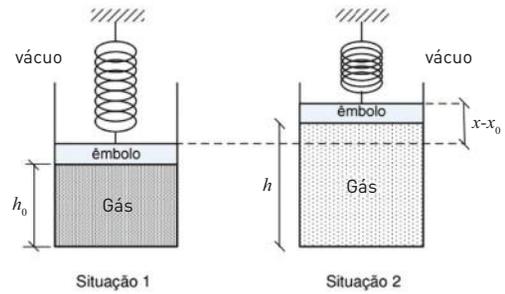
Os balões desempenham papel importante em pesquisas atmosféricas e sempre encantaram os espectadores. Bartolomeu de Gusmão, nascido em Santos em 1685, é considerado o inventor do aeróstato, balão empregado como aeronave. Em temperatura ambiente, $T_{\text{amb}} = 300 \text{ K}$, a densidade do ar atmosférico vale $\rho_{\text{amb}} = 1,26 \text{ kg/m}^3$. Quando o ar no interior de um balão é aquecido, sua densidade diminui, sendo que a pressão e o volume permanecem constantes. Com isso, o balão é acelerado para cima à medida que seu peso fica menor que o empuxo.

- a) Um balão tripulado possui volume total $V = 3,0 \cdot 10^6$ litros. Encontre o empuxo que atua no balão.
- b) Qual será a temperatura do ar no interior do balão quando sua densidade for reduzida a $\rho_{\text{quente}} = 1,05 \text{ kg/m}^3$? Considere que o ar se comporta como um gás ideal e note que o número de moles de ar no interior do balão é proporcional à sua densidade.





61. (IME-RJ)



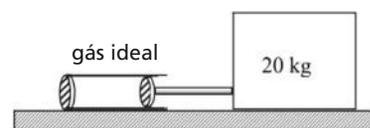
Reprodução/IME, 2014

A figura acima mostra um sistema posicionado no vácuo formado por um recipiente contendo um gás ideal de massa molecular M e calor específico c em duas situações distintas. Esse recipiente é fechado por um êmbolo preso a uma mola de constante elástica k , ambos de massa desprezível. Inicialmente (Situação 1), o sistema encontra-se em uma temperatura T_0 , o êmbolo está a uma altura h_0 em relação à base do recipiente e a mola comprimida de x_0 em relação ao seu comprimento relaxado. Se uma quantidade de calor Q for fornecida ao gás (Situação 2), fazendo com que o êmbolo se desloque para uma altura h e a mola passe a estar comprimida de x , a grandeza que varia linearmente com Q é

- a) $x + h$
- b) $x - h$
- c) $(x + h)^2$
- d) $(x - h)^2$
- e) $x \cdot h$

62. (UFJF-MG)

Um cilindro, preso firmemente à superfície de uma mesa, contém $1,0 \cdot 10^{-23}$ mol de um gás ideal. O cilindro tem um pistão de 2 cm^2 de área que se desloca sem atrito. A extremidade do pistão está encostada em uma caixa de massa $M = 20 \text{ kg}$. O gás inicialmente se encontra à temperatura de 273 K e à pressão atmosférica ($1 \text{ atm} = 10^5 \text{ Pa}$). Aquecendo-se o gás lentamente, ele aumenta a temperatura e a pressão até exercer uma força suficiente para deslocar a caixa. Continuando a aquecer o gás até 819 K , este se expande, à pressão constante, e empurra, por meio do pistão, a caixa sobre a superfície da mesa, cujo coeficiente de atrito durante o movimento é $\mu = 0,1$. Para fazer os cálculos abaixo, desconsidere a diferença que existe entre a força necessária para iniciar o movimento e a força para manter o movimento.



Reprodução/UFJF, 2008

Dados: $R = 8,2 \text{ J/K}\cdot\text{mol}$; $g = 10 \text{ m/s}^2$

- Calcule o volume inicial do gás.
- Calcule a intensidade da força mínima que o pistão deve exercer sobre a caixa para deslocá-la.
- Calcule a temperatura absoluta do gás quando a caixa começa a se deslocar.
- Calcule o volume final do gás à temperatura de 819 K.

63. (ITA-SP)

Suponha que a atmosfera de Vênus seja composta dos gases CO_2 , N_2 , Ar, Ne e He, em equilíbrio térmico a uma temperatura $T = 735 \text{ K}$.

- Determine a razão entre a velocidade quadrática média das moléculas de cada gás e a velocidade de escape nesse planeta.
- Que conclusão pode ser obtida sobre a provável concentração desses gases nessa atmosfera?
Obs.: Considere Vênus com o raio igual ao da Terra e a massa igual a 0,810 vezes a desta.

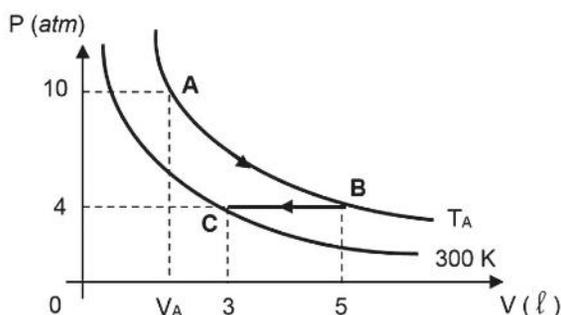
Dado $R = 8,3 \text{ J/mol}\cdot\text{K}$

64. No interior de um recipiente de volume variável, são introduzidos n mols de um gás perfeito. As tabelas a seguir contêm os valores medidos da pressão (p), do volume (V) e da temperatura absoluta (T) dessa amostra de gás perfeito em duas situações diferentes, denominadas **A** e **B**:

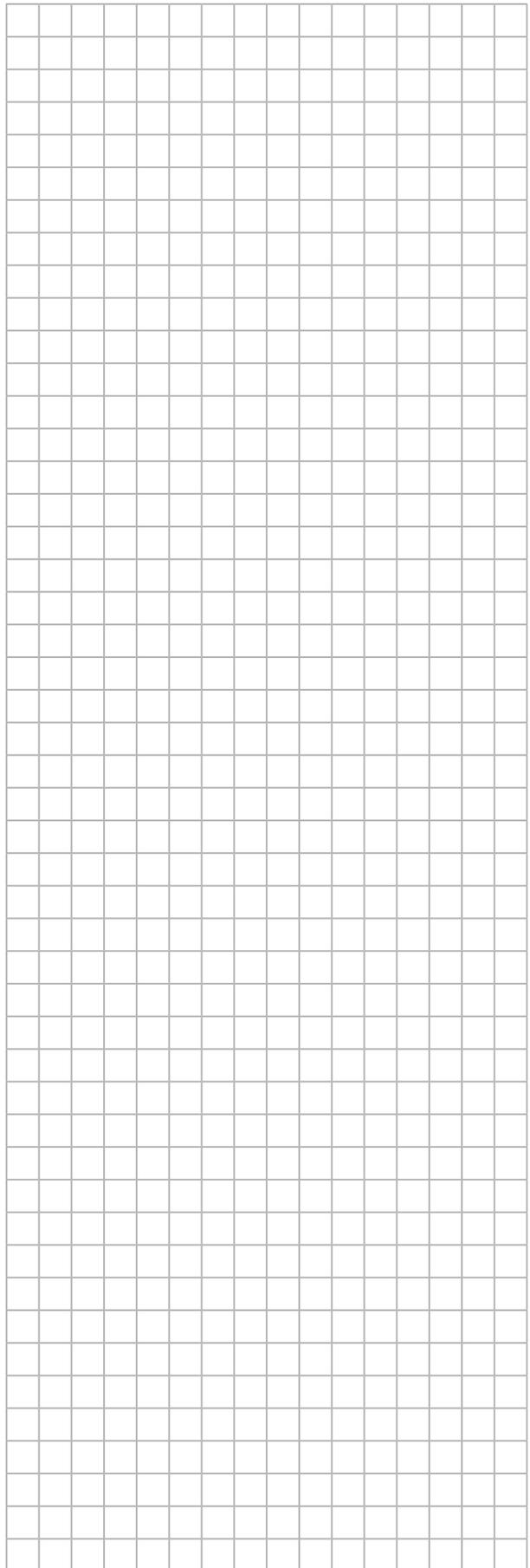
P_A (atm)	V_A (L)	T_A (K)	P_B (atm)	V_B (L)	T_B (K)
16,40	3,0	300	19,22	2,5	

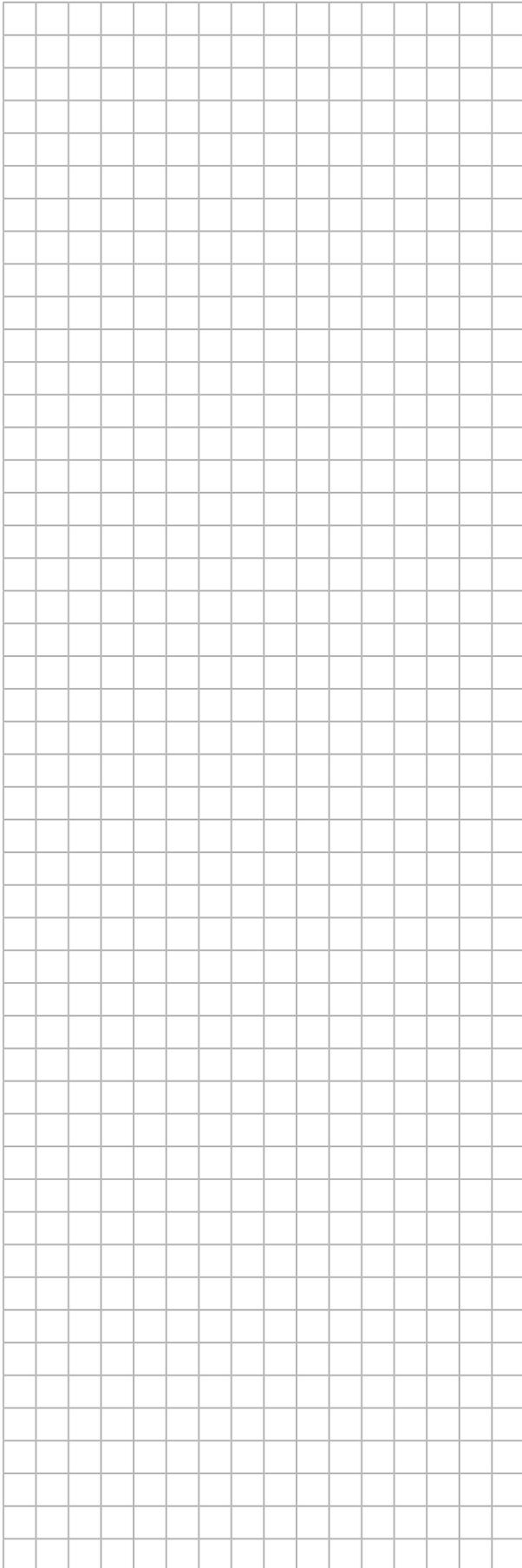
Usando os dados das tabelas e sabendo que a constante universal dos gases perfeitos vale $R = 0,082 \text{ (atm}\cdot\text{L)/(mol}\cdot\text{K)}$, determine os valores de n e de T_B .

65. (UPM-SP)



Reprodução/Mackenzie, 2018

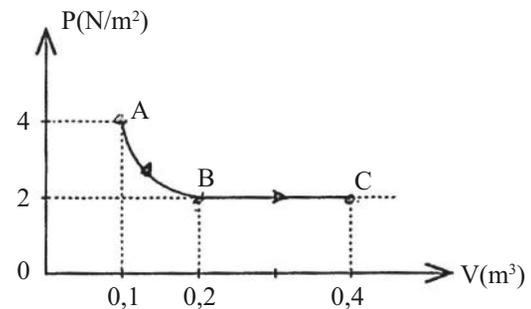




A figura anterior representa duas isotérmicas em que certa massa gasosa, inicialmente no estado A, sofre uma transformação atingindo o estado B, que por sua vez sofre uma transformação, atingindo o estado C. A temperatura T_A e o volume V_A são iguais a

- a) 200 K e 5 ℓ.
- b) 300 K e 2 ℓ.
- c) 400 K e 4 ℓ.
- d) 500 K e 2 ℓ.
- e) 500 K e 4 ℓ.

66. (UFPB) Certa quantidade de gás ideal monoatômico é levada do estado A para o estado C através de uma transformação isotérmica AB, seguida de uma transformação isobárica BC, como indicado no gráfico. No processo completo ABC, o gás recebe 2 J de calor do meio ambiente. Sabemos, também, que a variação da energia interna no processo BC é de 0,6 J.



Reprodução/UFPB, 2010

Com relação às transformações realizadas nesse processo, identifique as afirmativas corretas:

- I) A variação da energia interna no processo AB é nula.
- II) O trabalho realizado pelo gás no processo BC é de 0,4 J.
- III) O trabalho realizado pelo gás no processo AB é de 1,0 J.
- IV) A variação da energia interna no processo ABC é de 0,8 J.
- V) O calor absorvido no processo BC é de 1,0 J.

67. (Enem)

O ar atmosférico pode ser utilizado para armazenar o excedente de energia gerada no sistema elétrico, diminuindo seu desperdício, por meio do seguinte processo: água e gás carbônico são inicialmente removidos do ar atmosférico e a massa de ar restante é resfriada até $-198\text{ }^\circ\text{C}$.

Presente na proporção de 78% dessa massa de ar. O nitrogênio gasoso é liquefeito, ocupando um volume 700 vezes menor. A energia excedente do sistema elétrico é utilizada nesse processo, sendo parcialmente recuperada quando o nitrogênio líquido, exposto à temperatura ambiente, entra em ebulição e se expande, fazendo girar turbinas que convertem energia mecânica em energia elétrica.

MACHADO, R. Disponível em www.correiobraziliense.com.br, Acesso em: 9 set. 2013 (adaptado).

No processo descrito, o excedente de energia elétrica é armazenado pela

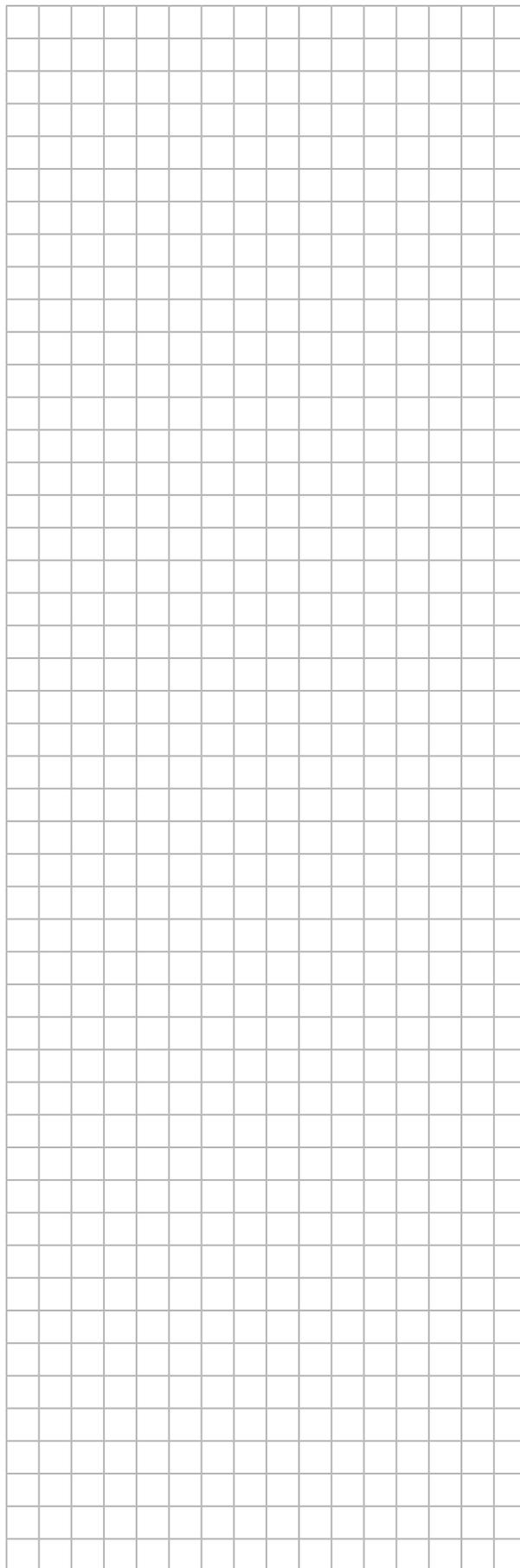
- a) expansão do nitrogênio durante a ebulição.
- b) absorção de calor pelo nitrogênio durante a ebulição.
- c) realização de trabalho sobre o nitrogênio durante a liquefação.
- d) retirada de água e gás carbônico da atmosfera antes do resfriamento.
- e) liberação de calor do nitrogênio para a vizinhança durante a liquefação.

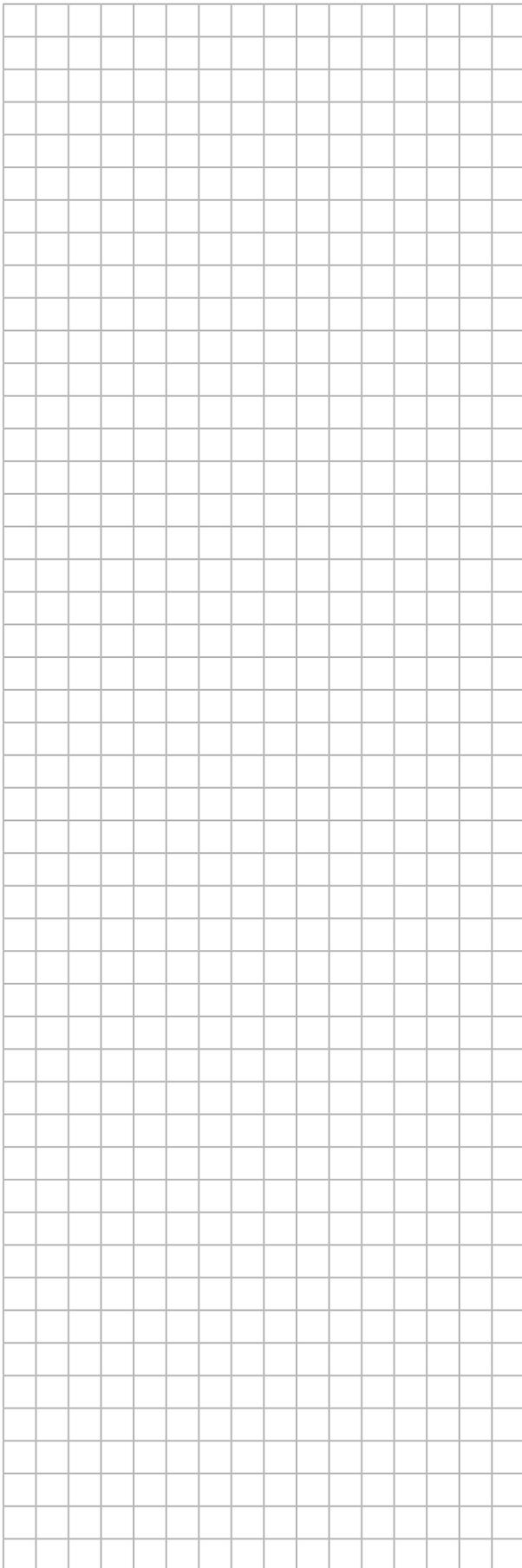
68. (SLMandic-SP)

Os modernos aparelhos de ar-condicionado do tipo Split são divididos em duas partes: o evaporador, que fica no interior da sala que se deseja controlar a temperatura e o condensador, colocado em alguma região externa.

Para resfriar a sala, se esse condensador fosse colocado em sua parte interna, o resultado seria:

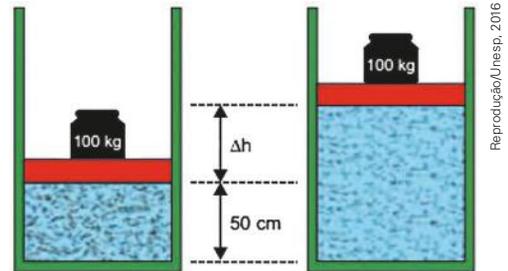
- a) melhor, pois o condensador retiraria uma quantidade ainda maior de calor do ambiente, abaixando ainda mais a temperatura da sala.
- b) melhor, pois o condensador ficaria num ambiente mais frio, facilitando a retirada de calor do ambiente, abaixando mais a temperatura da sala.
- c) igual, pois a quantidade de calor retirada do ambiente é a mesma nos dois casos, mantendo a temperatura constante na sala.
- d) pior, pois aumentaria o calor que deve ser rejeitado para o ambiente externo, aumentando também a temperatura da sala.
- e) pior, pois o calor que deveria ser rejeitado para o ambiente externo ficaria no próprio ambiente interno, aumentando a temperatura na sala.





69. (Unesp-SP)

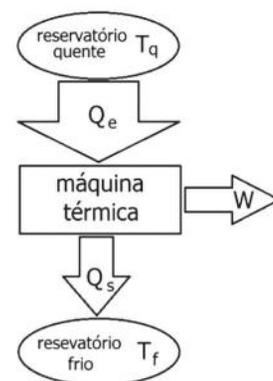
Determinada massa de nitrogênio é armazenada a 27°C dentro de um cilindro fechado em sua parte superior por um êmbolo de massa desprezível, sobre o qual está apoiado um corpo de 100 kg . Nessa situação, o êmbolo permanece em repouso a 50 cm de altura em relação à base do cilindro. O gás é, então, aquecido isobaricamente até atingir a temperatura de 67°C , de modo que o êmbolo sofre um deslocamento vertical Δh , em movimento uniforme, devido à expansão do gás.



Desprezando o atrito, adotando $g = 10\text{ m/s}^2$ e sabendo que a área do êmbolo é igual a 100 cm^2 , que a pressão atmosférica local vale 105 N/m^2 e considerando o nitrogênio como um gás ideal, calcule o módulo, em N, da força vertical que o gás exerce sobre o êmbolo nesse deslocamento e o trabalho realizado por essa força, em J, nessa transformação.

70. (UFRGS-RS)

Uma máquina térmica, representada na figura abaixo, opera na sua máxima eficiência, extraindo calor de um reservatório em temperatura $T_q = 527^\circ\text{C}$, e liberando calor para um reservatório em temperatura $T_f = 327^\circ\text{C}$.

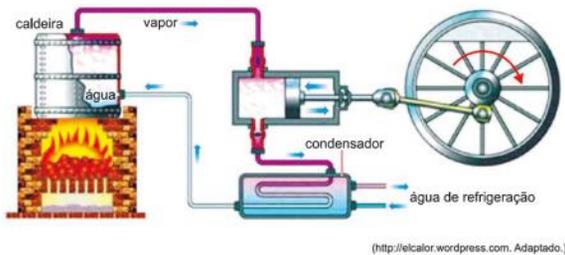


Para realizar um trabalho (W) de 600 J , o calor absorvido deve ser de

- a) 2400 J
- b) 1800 J
- c) 1581 J
- d) 967 J
- e) 800 J

71. (Unesp-SP)

A figura mostra uma máquina térmica em que a caldeira funciona como a fonte quente e o condensador como a fonte fria.



- a) Considerando que, a cada minuto, a caldeira fornece, por meio do vapor, uma quantidade de calor igual a $1,6 \times 10^9$ J e que o condensador recebe uma quantidade de calor igual a $1,2 \times 10^9$ J, calcule o rendimento dessa máquina térmica.
- b) Considerando que $6,0 \times 10^3$ kg de água de refrigeração fluem pelo condensador a cada minuto, que essa água sai do condensador com temperatura 20°C acima da temperatura de entrada e que o calor específico da água é igual a $4,0 \times 10^3$ J/(kg · °C), calcule a razão entre a quantidade de calor retirada pela água de refrigeração e a quantidade de calor recebida pelo condensador.

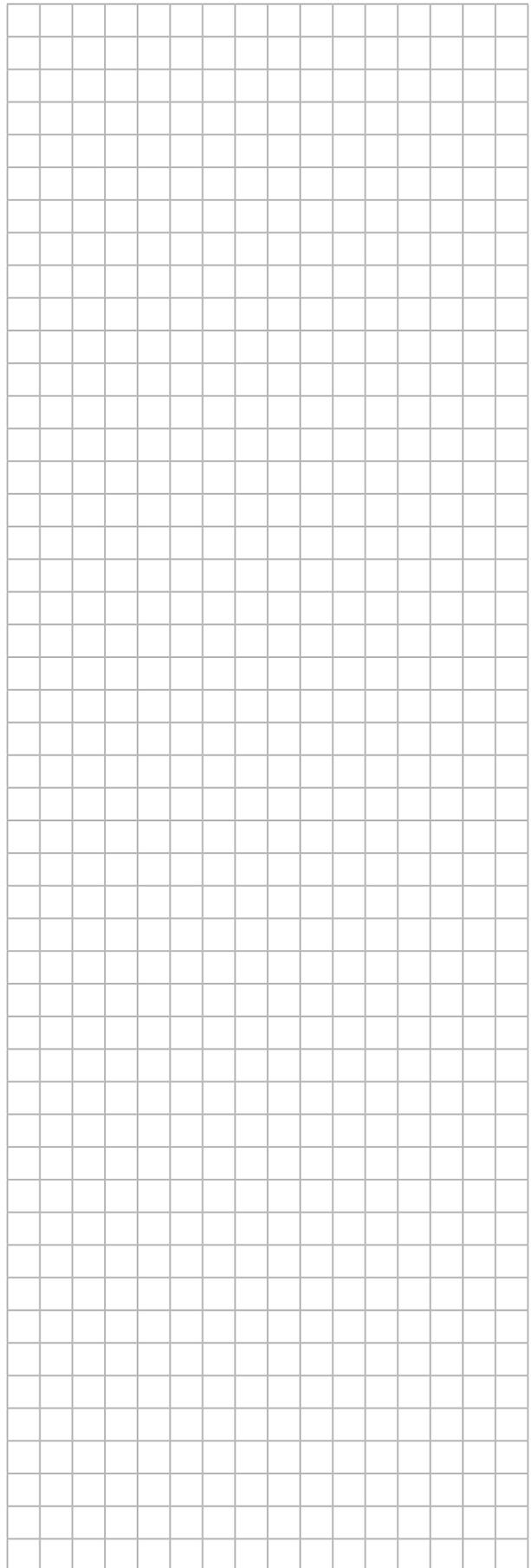
72. Uma máquina a vapor foi projetada para operar entre duas fontes térmicas, uma quente e outra fria, e para trabalhar segundo o *Ciclo de Carnot*. Sabe-se que a temperatura da fonte quente é de 127°C e que a máquina retira, a cada ciclo, 600 J dessa fonte, alcançando um rendimento máximo igual a 25%. O trabalho realizado pela máquina, por ciclo, e a temperatura da fonte fria são, respectivamente:

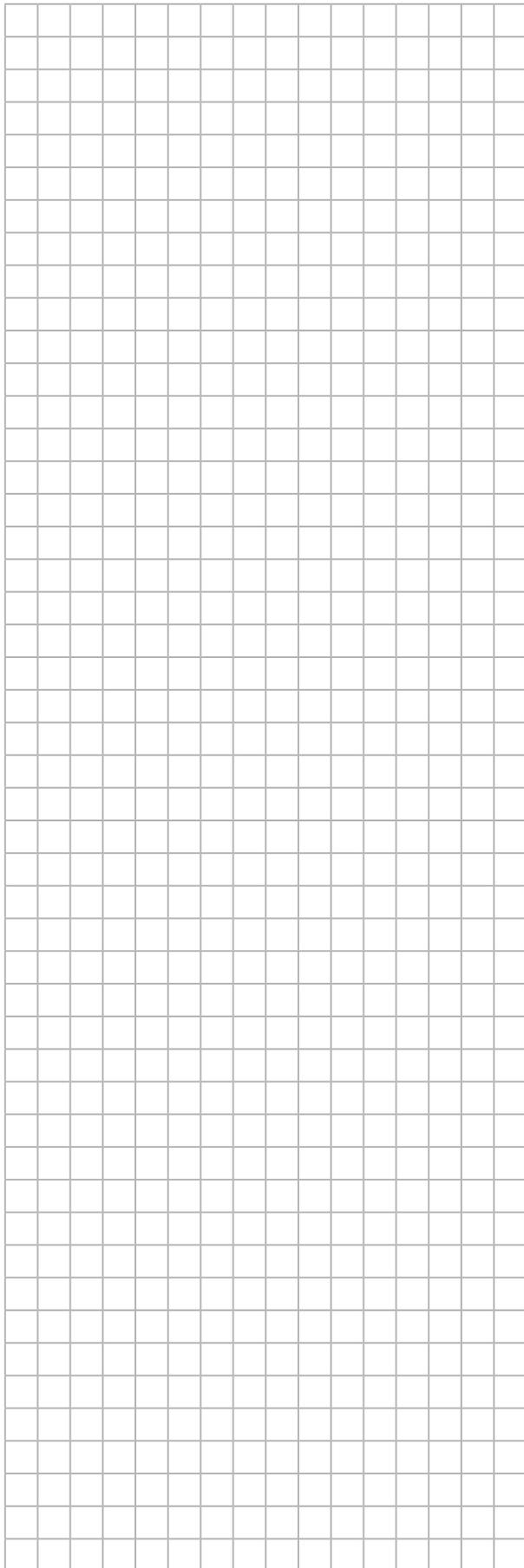
- | | |
|------------------------------|-------------------------------|
| a) 24 J e 0°C | c) 150 J e 27°C |
| b) 90 J e 27°C | d) 240 J e 95°C |

73. (SBF)

Considere uma máquina térmica reversível entre dois reservatórios. Suponha que você possa mudar a temperatura T_q (quente) e T_f (frio) dos reservatórios. Qual das opções abaixo aumenta necessariamente a eficiência do ciclo reversível operando entre estes reservatórios?

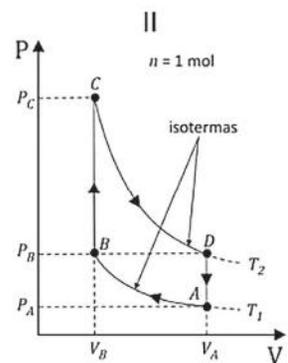
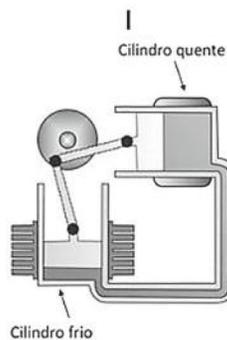
- a) Fixar T_f e aumentar T_q
- b) Fixar T_q e aumentar T_f
- c) Fixar T_f e diminuir T_q
- d) Aumentar T_f e aumentar T_q





74. (Fuvest-SP)

O motor Stirling, uma máquina térmica de alto rendimento, é considerado um motor ecológico, pois pode funcionar com diversas fontes energéticas. A figura I mostra esquematicamente um motor Stirling com dois cilindros. O ciclo termodinâmico de Stirling, mostrado na figura II, representa o processo em que o combustível é queimado externamente para aquecer um dos dois cilindros do motor, sendo que uma quantidade fixa de gás inerte se move entre eles, expandindo-se e contraindo-se. Nessa figura está representado um ciclo de Stirling no diagrama $P \times V$ para um mol de gás ideal monoatômico. No estado **A**, a pressão é $P_A = 4 \text{ atm}$, a temperatura é $T_1 = 27 \text{ }^\circ\text{C}$ e o volume é V_A . A partir do estado **A**, o gás é comprimido isotermicamente até um terço do volume inicial, atingindo o estado **B**. Na isoterma T_1 , a quantidade de calor trocada é $Q_1 = 2640 \text{ J}$, e, na isoterma T_2 , é $Q_2 = 7910 \text{ J}$.



Reprodução/Fuvest, 2018

Determine

- a) o volume V_A , em litros;
- b) a pressão P_D , em atm, no estado **D**;
- c) a temperatura T_2 .

Considerando apenas as transformações em que o gás recebe calor, determine

- d) a quantidade total de calor recebido em um ciclo, Q_R , em J.

Note e adote: Calor específico a volume constante: $CV = 3 R/2$

Constante universal dos gases: $R = 8 \text{ J}/(\text{mol K}) = 0,08 \text{ atm } \ell/(\text{mol K})$

$0 \text{ }^\circ\text{C} = 273 \text{ K}$

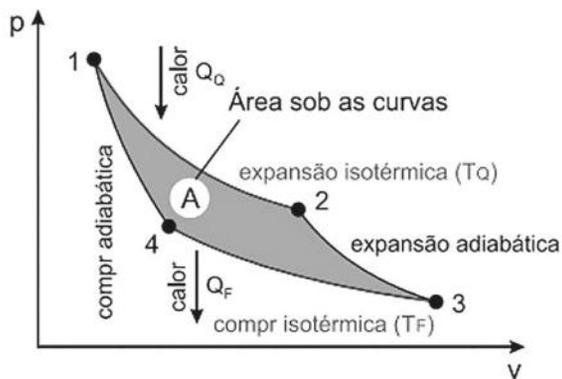
$1 \text{ atm} = 10^5 \text{ Pa}$

$\text{m}^3 = 1000 \text{ } \ell$

75. (PUC-PR)

O físico e engenheiro francês Nicolas Léonard Sad Carnot (1796-1832), em seu trabalho *Reflexões sobre a potência motriz do fogo*, concluiu que as máquinas térmicas ideais podem atingir um rendimento máximo por meio de uma seqüência específica de transformações gasosas que resultam num ciclo – denominado de *ciclo de Carnot*, conforme ilustra a figura a seguir.

Reprodução/PUC-PR, 2014



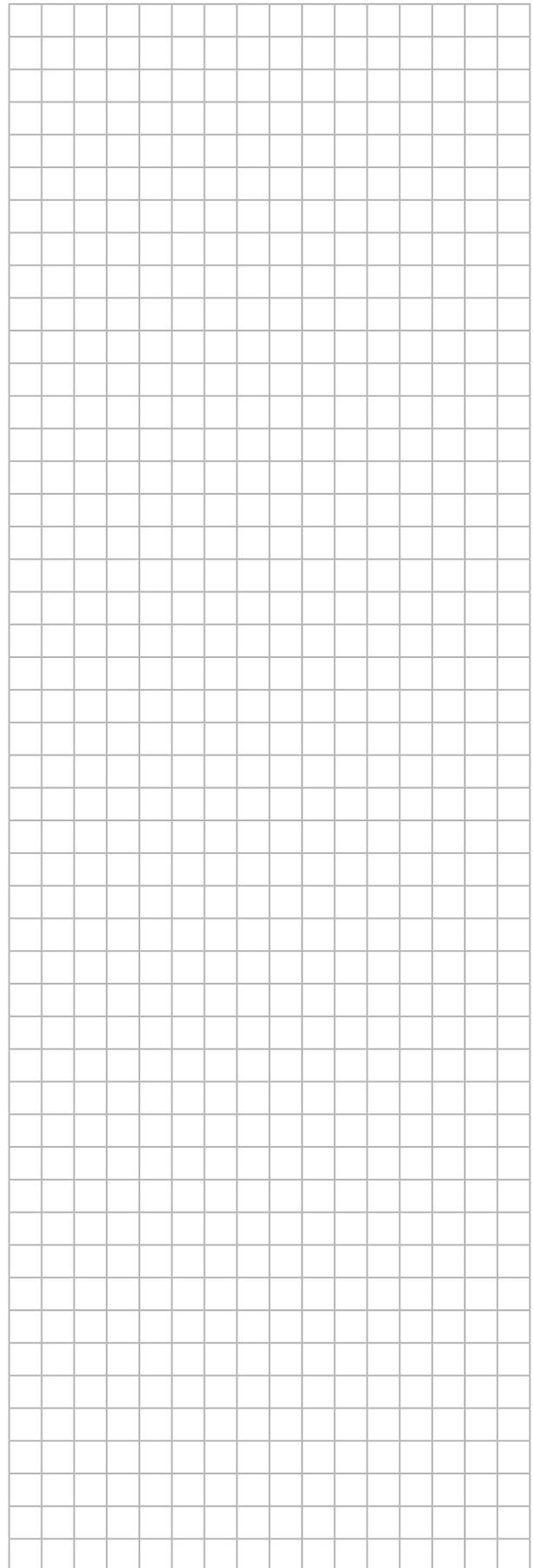
Fonte: <<http://www.mspc.eng.br/termo/img01/termod307.gif>>. [adaptado]

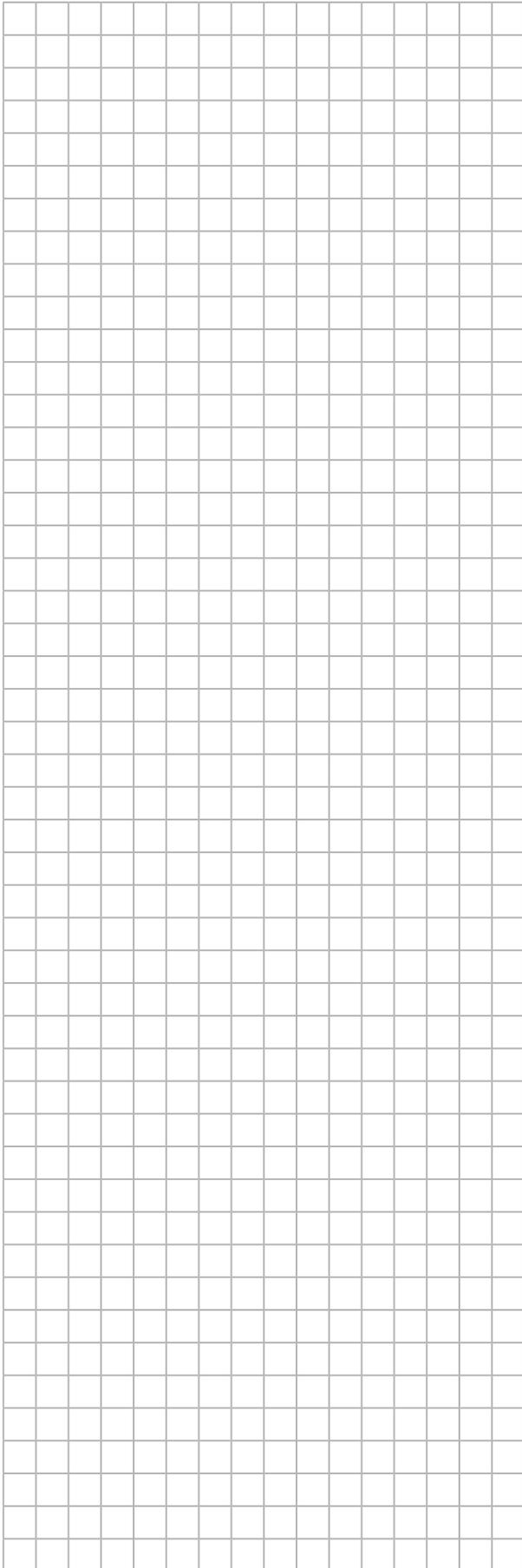
A partir das informações do ciclo de Carnot sobre uma massa de gás, conforme mostrado no gráfico $p \times v$, analise as alternativas a seguir.

- I. Ao iniciar o ciclo (expansão isotérmica $1 \rightarrow 2$), a variação de energia interna do gás é igual a Q_0 e o trabalho é positivo ($W > 0$).
- II. Na segunda etapa do ciclo (expansão adiabática $2 \rightarrow 3$) não há troca de calor, embora o gás sofra um resfriamento, pois $\Delta U = -W$.
- III. Na compressão adiabática $4 \rightarrow 1$, última etapa do ciclo, o trabalho realizado sobre o gás corresponde à variação de energia interna dessa etapa e há um aquecimento, ou seja, $\Delta U = +W$.
- IV. O trabalho útil realizado pela máquina térmica no ciclo de Carnot é igual à área A ou, outro modo, dado por: $W = Q_0 - Q_F$.
- V. O rendimento da máquina térmica ideal pode atingir até 100%, pois o calor Q_F pode ser nulo – o que não contraria a segunda lei da termodinâmica.

Estão corretas apenas as alternativas:

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





76. (OPF)

A Segunda Lei da Termodinâmica possui diversos enunciados equivalentes. Um deles é: "É impossível construir uma máquina térmica que, operando em ciclos, possa ter como único efeito a transformação integral em trabalho do calor retirado de uma fonte". Carlos, um aluno que estudava para participar da fase estadual da OPF, concluiu que a Segunda Lei da Termodinâmica contradizia a Primeira Lei e, segundo ele, a revogava. Você concorda ou discorda dele? Enuncie a Primeira Lei e justifique sua resposta.

77. (ITA-SP)

Considere uma garrafa térmica fechada contendo uma certa quantidade de água inicialmente a $20\text{ }^\circ\text{C}$. Elevando-se a garrafa a uma certa altura e baixando-a em seguida, suponha que toda a água sofra uma queda livre de 42 cm em seu interior. Este processo se repete 100 vezes por minuto. Supondo que toda energia cinética se transforme em calor a cada movimento, determine o tempo necessário para ferver toda a água. Dado: calor específico da água = $4200\text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$

78. (PUC-SP)

Um motor de potência $2,5\text{ cv}$ absorve 925 cal/s de uma fonte térmica quente, cuja temperatura é de $927\text{ }^\circ\text{C}$. Sendo a temperatura da fonte fria de $80,6\text{ }^\circ\text{F}$, determine a razão entre o rendimento de um motor de Carnot que operasse entre essas mesmas fontes térmicas e o rendimento do referido motor.

Dados: $1\text{ cal} = 4\text{ J}$; $1\text{ cv} = 735\text{ W}$

a) $0,75$ b) $1,00$ c) $1,50$ d) $2,00$

79. (IME-RJ)

Dois corpos iguais deslizam na mesma direção e em sentidos opostos em um movimento retilíneo uniforme, ambos na mesma velocidade em módulo e à mesma temperatura. Em seguida, os corpos colidem. A colisão é perfeitamente inelástica, sendo toda energia liberada no choque utilizada para aumentar a temperatura dos corpos em 2 K . Diante do exposto, o módulo da velocidade inicial do corpo, em m/s , é

Dado:

• Calor específico dos corpos: $2\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$

a) $\sqrt{2}$ c) $2\sqrt{2}$ e) 6
b) 2 d) 4

80. Numa transformação isotérmica ocorrida em uma amostra de gás perfeito, vale a relação

$$pV = \text{constante}$$

Em que p e V são, respectivamente, as variáveis de estado chamadas pressão e volume do gás.

Se a transformação for adiabática, essa relação passa a ser

$$pV^\gamma = \text{constante}$$

em que γ é o expoente de Poisson-Laplace e é determinado pela razão entre o calor específico sensível do gás perfeito a pressão constante e a volume constante:

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v}$$

Considere uma dada amostra de gás perfeito que se expande adiabaticamente e quase estaticamente, desde uma pressão inicial de 2,0 atm, volume de 3,0 L e na temperatura de 87 °C até atingir o dobro do seu volume. Sabendo-se que o expoente de Poisson para esse gás vale 2,0, pode-se afirmar que a pressão final e a temperatura final, respectivamente, valem

- a) 2,0 atm e 180 °C
- b) 1,0 atm e -93 °C
- c) 0,5 atm e -93 °C
- d) 0,5 atm e 93 °C
- e) 2,0 atm e -180 °C

81. (UPE)

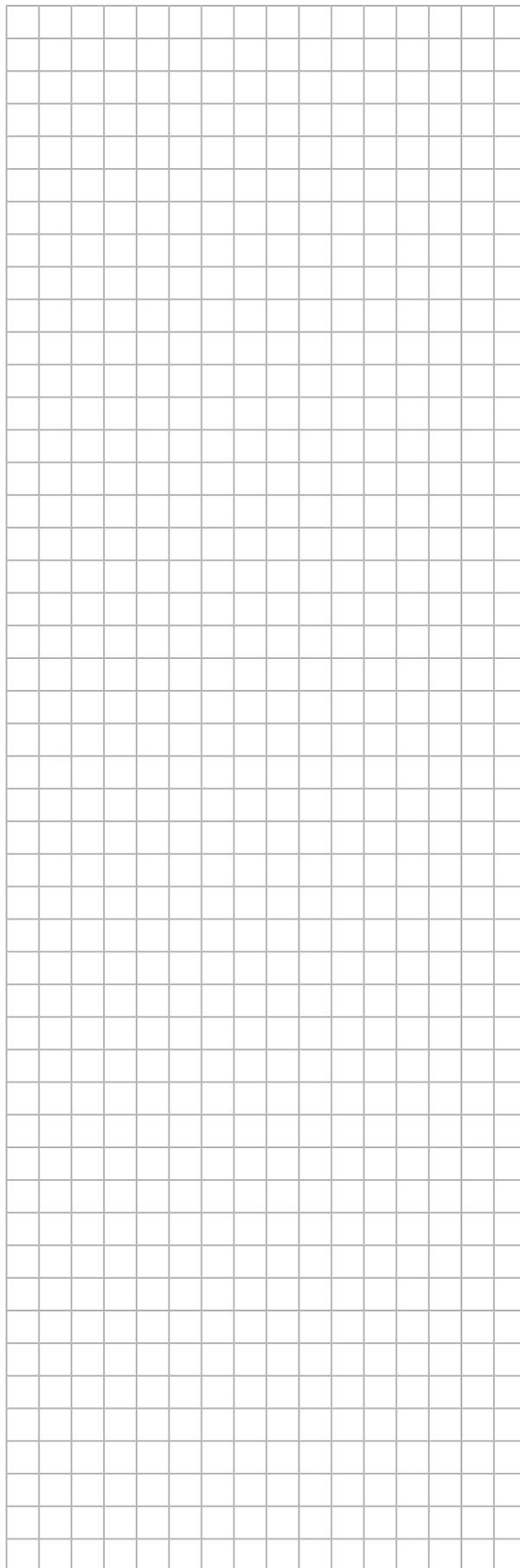
Ao lavar pratos e copos, um cozinheiro verifica que dois copos estão encaixados firmemente, um dentro do outro. Sendo o copo externo feito de alumínio e o interno, de vidro, sobre as formas de separá-los, utilizando os princípios básicos de dilatação térmica, analise os itens a seguir:

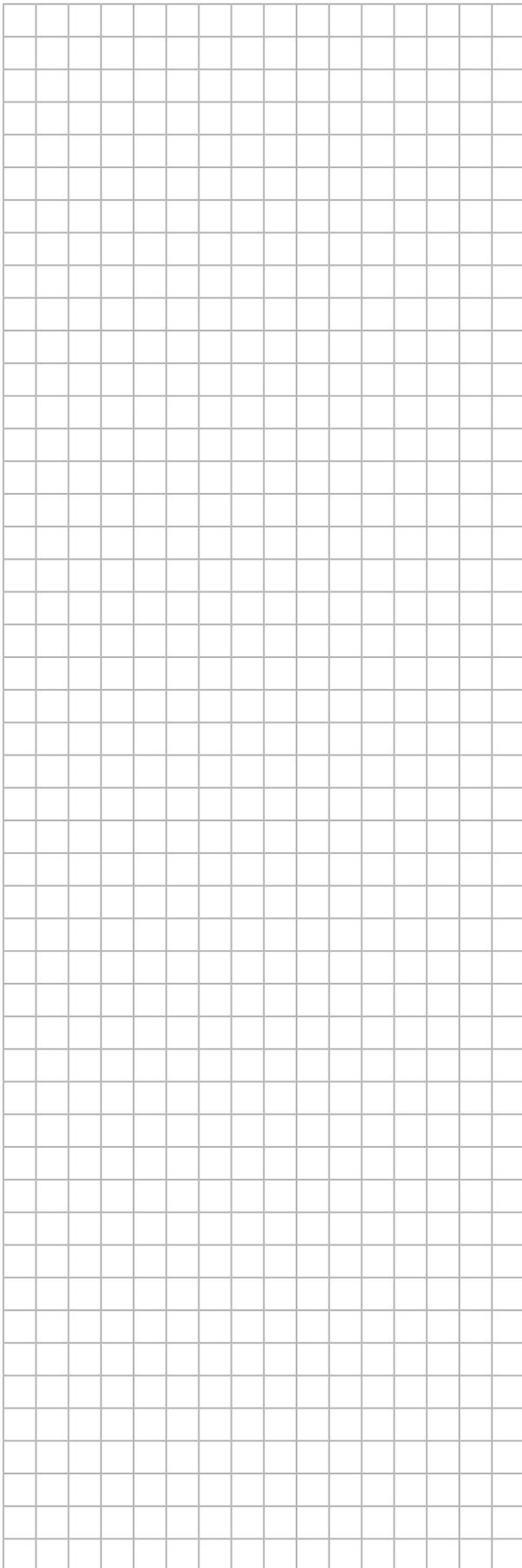
- I. Aquecendo apenas um copo de vidro.
- II. Esfriando apenas o copo de alumínio.
- III. Aquecendo ambos.
- IV. Esfriando ambos.

Dados: os coeficientes de dilatação térmica do alumínio e do vidro são iguais a $\alpha_{Al} = 24 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ e $\alpha_{vidro} = 0,5 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, respectivamente.

Está(ão) CORRETO(S) apenas

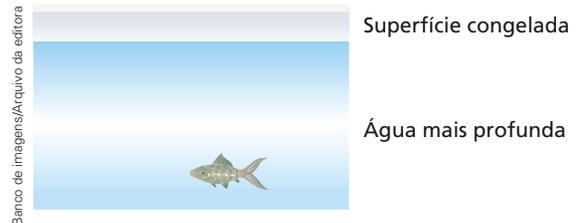
- a) I e II.
- b) I.
- c) II.
- d) III.
- e) IV.





82. (Vunesp)

Em locais onde o inverno é muito rigoroso, é muito comum ocorrer o congelamento dos lagos. Na realidade, apenas a camada superficial da água se congela, enquanto a parte mais profunda, embora muito fria, ainda permanece no estado líquido. Dessa forma, os seres vivos desse local conseguem sobreviver a um período crítico, como mostra a ilustração a seguir.

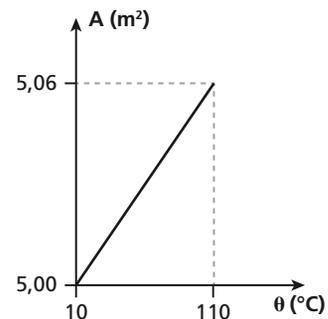


Considerando que tanto a água profunda como a da superfície congelada são a mesma substância, porém em diferentes estados físicos, a razão pela qual a água no estado sólido permanece na superfície é que

- a) com a diminuição da temperatura, a água tem sua massa reduzida.
- b) a água aumenta de volume ao passar do estado líquido para o sólido.
- c) a quantidade da água no estado líquido é muito maior que a da água no estado sólido.
- d) nos rios e lagos, a variação de temperatura altera a massa e volume da água.

83. (UPM-SP)

O gráfico mostra a variação de área lateral de um cilindro metálico em função da temperatura, quando submetido a uma fonte de calor constante. O coeficiente de dilatação volumétrica média do material que constitui o cilindro é



- a) $60,0 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
- b) $120 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
- c) $180 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
- d) $240 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
- e) $300 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

84. (AFA-SP)

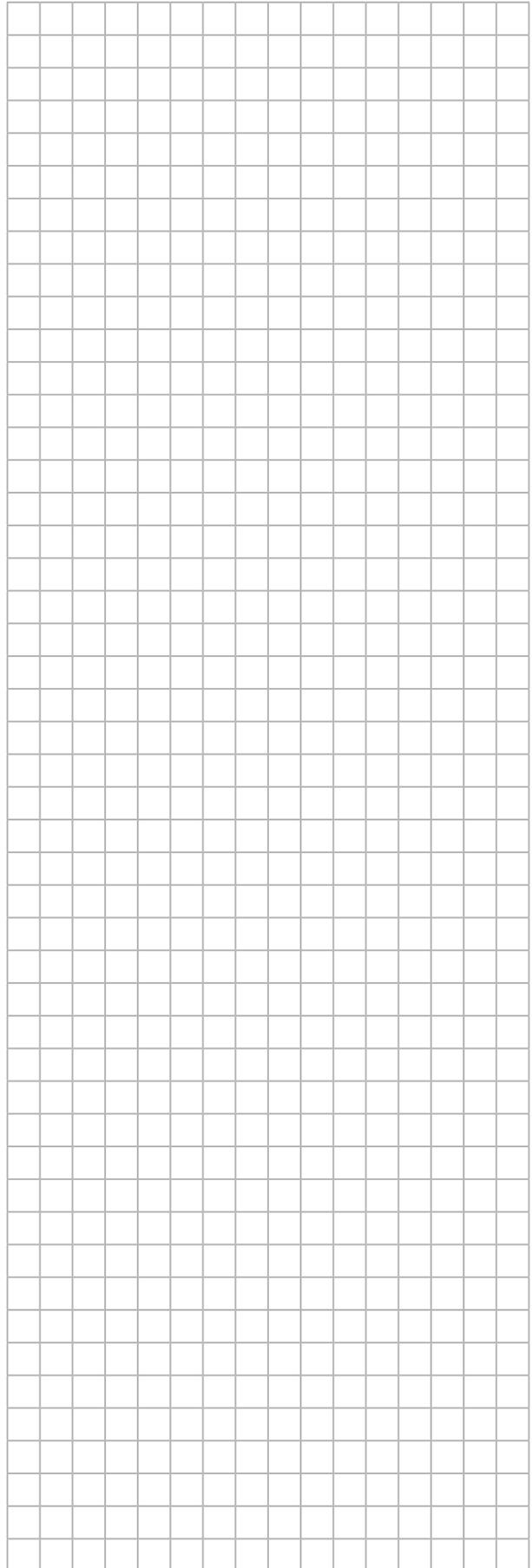
Com relação à dilatação dos sólidos e líquidos e isotrópicos, analise as propriedades a seguir e dê como resposta a soma dos números associados às afirmações corretas.

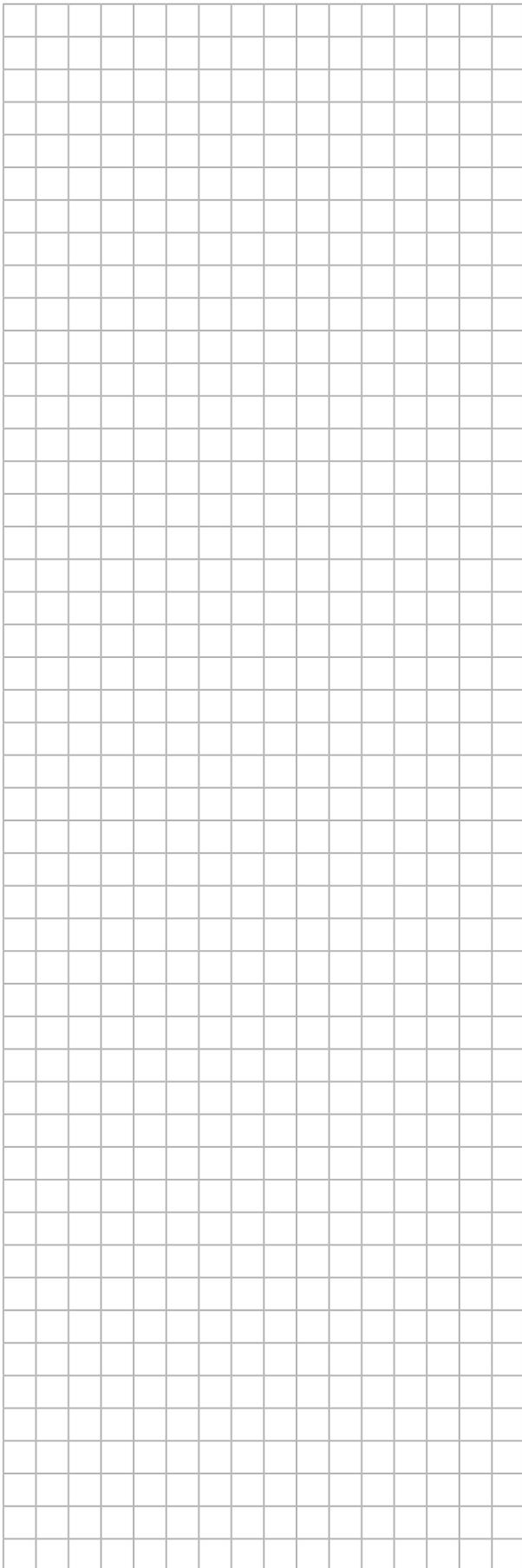
- (01) Um recipiente com dilatação desprezível contém certa massa de água na temperatura de $1\text{ }^{\circ}\text{C}$, quando é, então, aquecido lentamente, sofrendo uma variação de temperatura de $6\text{ }^{\circ}\text{C}$. Nesse caso, o volume da água primeiro aumenta e depois diminui.
 - (02) Quando se aquece uma placa metálica que apresenta um orifício, verifica-se que, com dilatação da placa, a área do orifício aumenta.
 - (03) Quando um frasco completamente cheio de líquido é aquecido, este transborda um pouco. O volume de líquido transbordado mede a dilatação absoluta do líquido.
 - (04) O vidro pirex apresenta maior resistência ao choque térmico do que o vidro comum porque tem menor coeficiente de dilatação térmica do que o vidro comum.
 - (05) Sob pressão normal, quando uma massa de água é aquecida de $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ até $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ sua densidade sempre aumenta.
 - (06) Ao se elevar a temperatura de um sistema constituído por três barras retas e idênticas de ferro interligadas de modo a formar um triângulo isósceles, os ângulos internos desse triângulo não se alteram.
- a) 07
 - b) 10
 - c) 11
 - d) 12

85. (PUC-RJ)

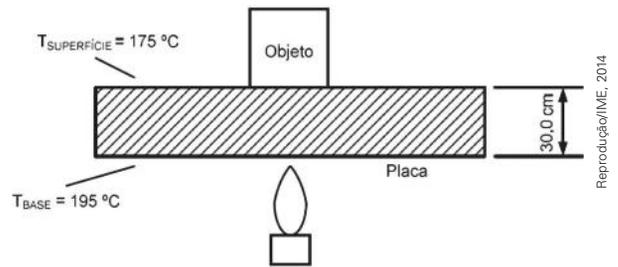
Uma placa de vidro possui as dimensões de $1,0\text{ m} \times 1,0\text{ m} \times 1,0\text{ cm}$ quando está à temperatura ambiente. Seu coeficiente de dilatação linear é $9 \cdot 10^{-6}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$. Se a placa sofrer uma variação de temperatura de $10\text{ }^{\circ}\text{C}$, de quanto será a variação de volume da placa, em cm^3 ?

- a) $7,3 \cdot 10^{-11}$
- b) $7,3 \cdot 10^{-7}$
- c) $9,0 \cdot 10^{-3}$
- d) $9,0 \cdot 10^{-1}$
- e) 2,7





86. (IME-RJ)



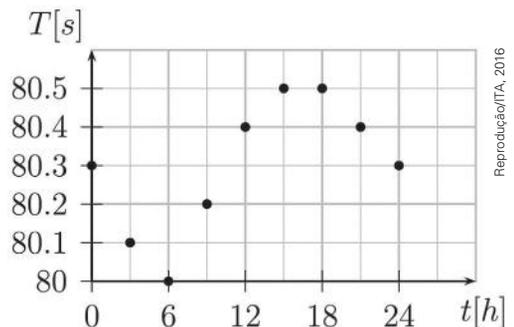
Um objeto de 160 g de massa repousa, durante um minuto, sobre a superfície de uma placa de 30 cm de espessura e, ao final deste experimento, percebe-se que o volume do objeto é 1% superior ao inicial. A base da placa é mantida em 195 °C e nota-se que a sua superfície permanece em 175 °C. A fração de energia, em porcentagem, efetivamente utilizada para deformar a peça é

Dados:

- Condutividade térmica da placa: $50 \frac{W}{m \text{ } ^\circ C}$
 - Calor específico do objeto: $432 \frac{J}{kg \text{ } ^\circ C}$
 - Coeficiente de dilatação linear: $1,6 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ C^{-1}$
 - Área da placa: $0,6 \text{ m}^2$
- a) 4 c) 18 e) 60
b) 12 d) 36

87. (ITA-SP)

Um pêndulo simples é composto por uma massa presa a um fio metálico de peso desprezível. A figura registra medidas do tempo T em segundos, para 10 oscilações completas e seguidas do pêndulo ocorridas ao longo das horas do dia, t .

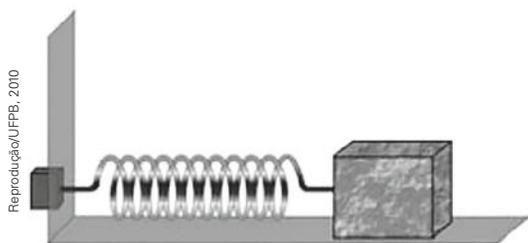


Considerando que neste dia houve uma variação térmica total de 20 °C, assinale o valor do coeficiente de dilatação térmica do fio deste pêndulo.

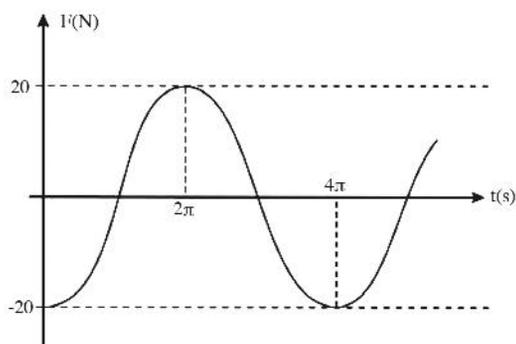
- a) $2 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ C^{-1}$ d) $8 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ C^{-1}$
b) $4 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ C^{-1}$ e) $10 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ C^{-1}$
c) $6 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ C^{-1}$

88. (UFPB)

Um determinado tipo de sensor usado para medir forças, chamado de sensor piezoelétrico, é colocado em contato com a superfície de uma parede, onde se fixa uma mola. Dessa forma, pode-se medir a força exercida pela mola sobre a parede. Nesse contexto, um bloco, apoiado sobre uma superfície horizontal, é preso a outra extremidade de uma mola de constante elástica igual a 100 N/m , conforme ilustração abaixo.



Nessa circunstância, fazendo-se com que esse bloco descreva um movimento harmônico simples, observa-se que a leitura do sensor é dada no gráfico a seguir.

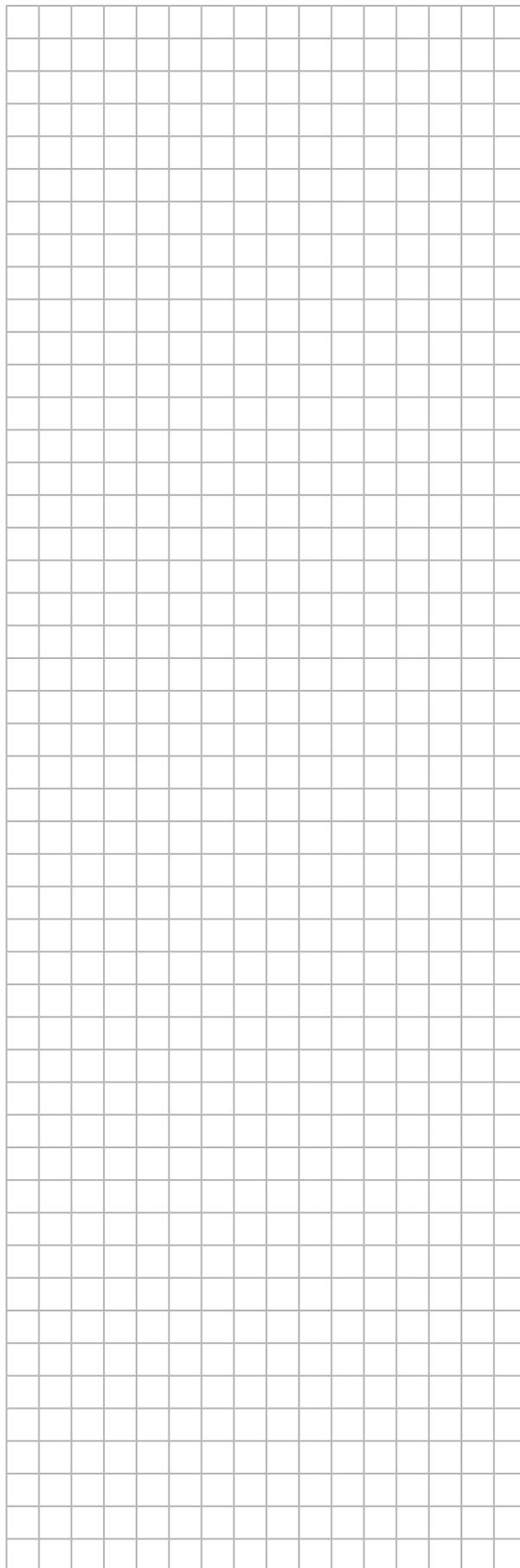


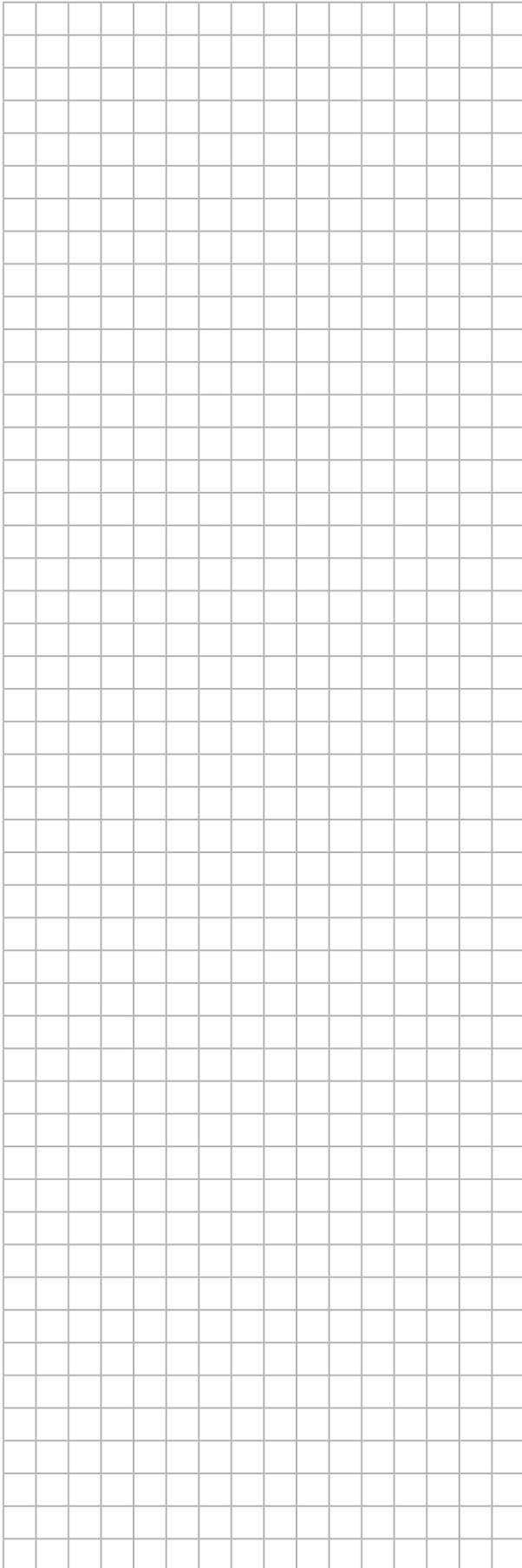
Com base nessas informações é correto afirmar que a velocidade máxima atingida pelo bloco, em m/s , é de:

- a) 0,1
- b) 0,2
- c) 0,4
- d) 0,8
- e) 1,0

89. Um frasco de vidro, cujo volume é 2000 cm^3 a $0 \text{ }^\circ\text{C}$, está completamente cheio de mercúrio a esta temperatura. Sabe-se que o coeficiente de dilatação volumétrica do mercúrio é $1,8 \cdot 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ e o coeficiente de dilatação linear do vidro de que é feito o frasco é $1,0 \cdot 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$. O volume de mercúrio que irá entornar, em cm^3 , quando o conjunto for aquecido até $100 \text{ }^\circ\text{C}$, será:

- a) 6,0
- b) 18
- c) 36
- d) 30
- e) 15





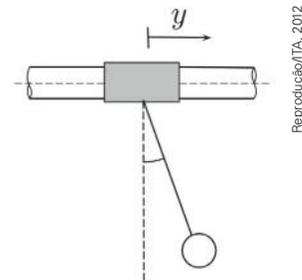
90. (SBF)

No livro "Princípios matemáticos da filosofia natural", escrito por Isaac Newton e publicado em 1756 (versão em Latim), relata-se entre suas três famosas leis do movimento, as várias medidas realizadas por astrônomos, utilizando-se de relógios de pêndulo na determinação da aceleração da gravidade, observando que os mesmos movem-se mais lentamente quando próximos à linha do equador, comparando com as medidas realizadas em Paris. Em uma dessas medidas realizadas pela expedição do astrônomo francês Pierre Couplet, que chegou à Paraíba em 1688, verificou-se que comparado a Paris ($g = 9,81 \text{ m/s}^2$) as oscilações foram reduzidas em 125 ao dia, tornando $g = 9,78 \text{ m/s}^2$. A partir dessas informações, podemos acertadamente afirmar que:

- a) O período dos pêndulos testados é inversamente proporcional à raiz quadrada da aceleração da gravidade local;
- b) O período dos pêndulos testados é proporcional à raiz quadrada da aceleração da gravidade local;
- c) A temperatura local não influencia na determinação do período de oscilação;
- d) Duplicando o comprimento de um pêndulo simples, seu período quadruplica;
- e) A frequência de oscilação é inversamente proporcional a aceleração da gravidade local.

91. (ITA-SP)

Um cilindro vazio pode deslizar sem atrito num eixo horizontal no qual se apoia. Preso ao cilindro, há um cabo de 40 cm de comprimento tendo uma esfera na ponta, conforme figura. Uma força externa faz com que o cilindro adquira um movimento na horizontal do tipo $y = y_0 \sin(2\pi f t)$. Qual deve ser o valor de f em hertz para que seja máxima a amplitude das oscilações da esfera?

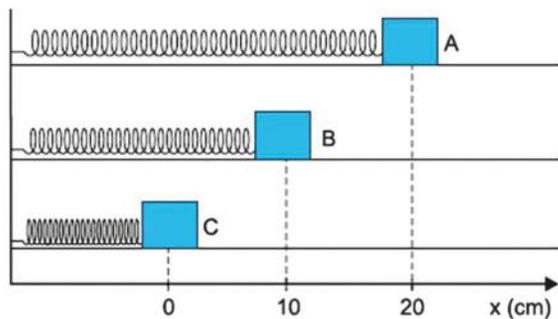


Reprodução/ITA, 2012

- a) 0,40
- b) 0,80
- c) 1,3
- d) 2,5
- e) 5,0

92. (Famerp-SP)

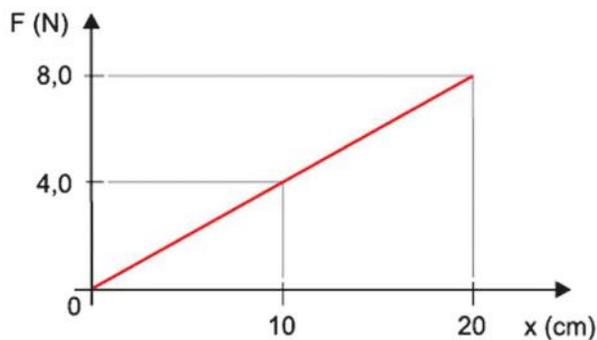
A figura mostra o deslocamento horizontal de um bloco preso a uma mola, a partir da posição **A** e até atingir a posição **C**.



Reprodução/Famerp, 2018

(www.mundoeducacao.bol.uol.br. Adaptado.)

O gráfico representa o módulo da força que a mola exerce sobre o bloco em função da posição deste.



Reprodução/Famerp, 2018

O trabalho realizado pela força elástica aplicada pela mola sobre o bloco, quando este se desloca da posição **A** até a posição **B**, é

- a) $0,60$ J. c) $-0,30$ J. e) $0,30$ J.
- b) $-0,60$ J. d) $0,80$ J.

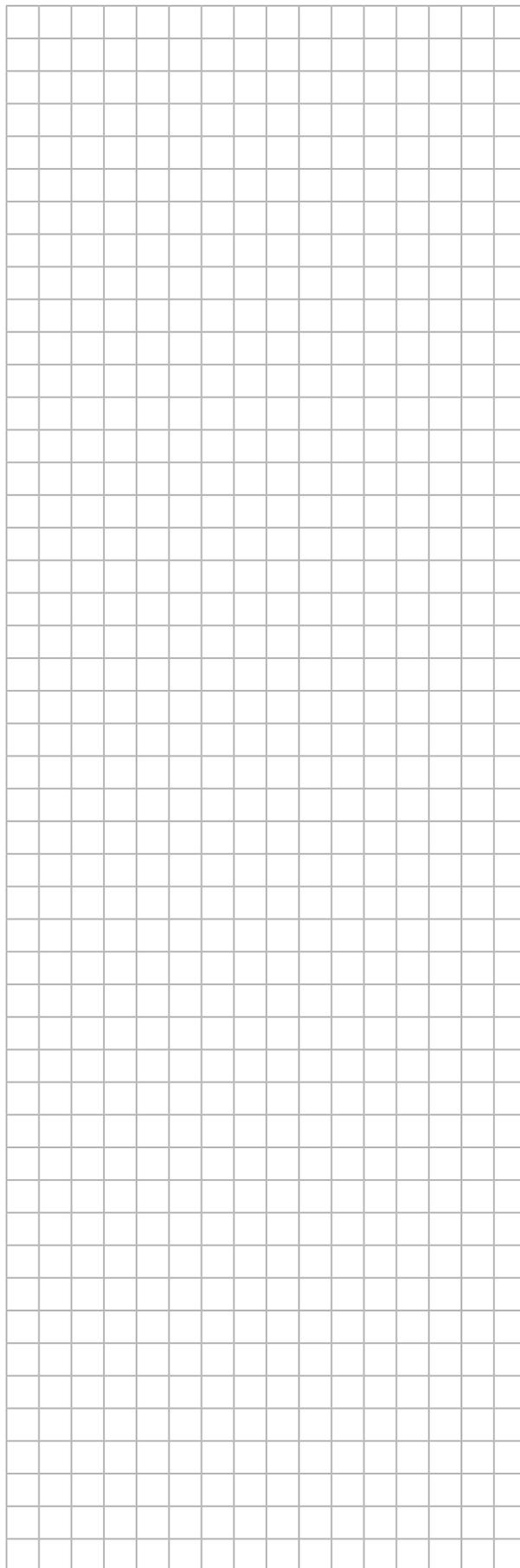
93. (Uece)

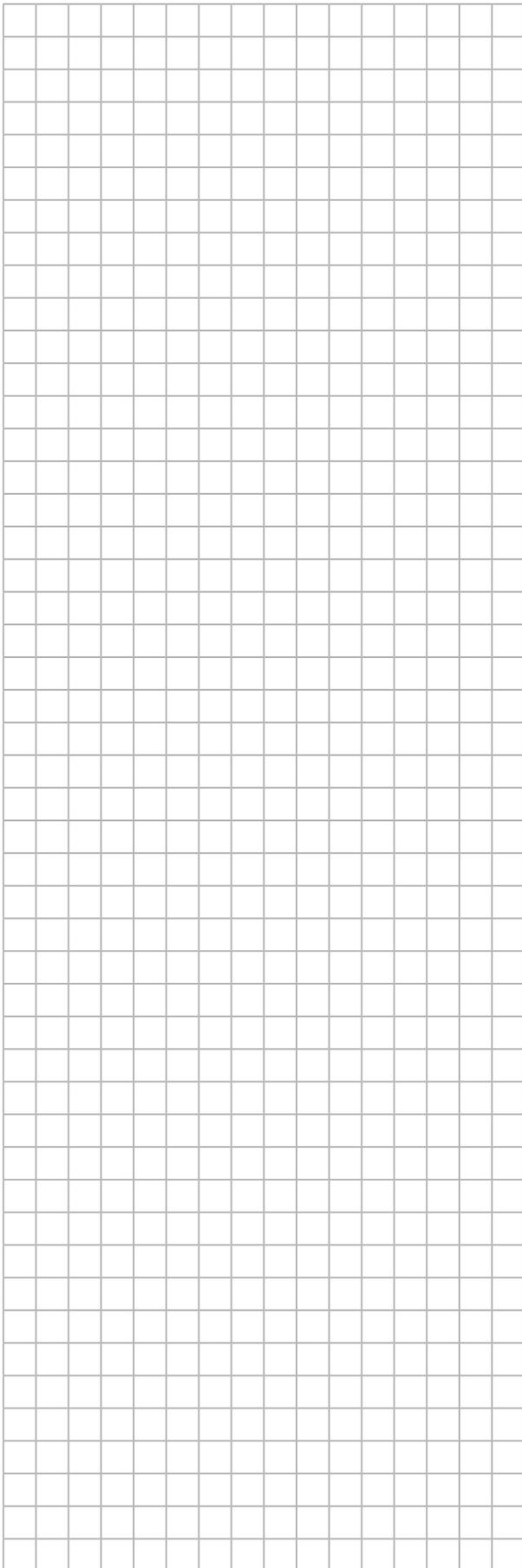
Em um oscilador harmônico simples, a energia potencial na posição de energia cinética máxima

- a) tem um máximo e diminui na vizinhança desse ponto.
- b) tem um mínimo, aumenta à esquerda e se mantém constante à direita desse ponto.
- c) tem um mínimo e aumenta na vizinhança desse ponto.
- d) tem um máximo, aumenta à esquerda e se mantém constante à direita desse ponto.

94. (Uece)

Luz infravermelha com comprimentos de onda entre 780 e 1400 nm tem maior penetração na pele, podendo superar 4 mm de profundidade.

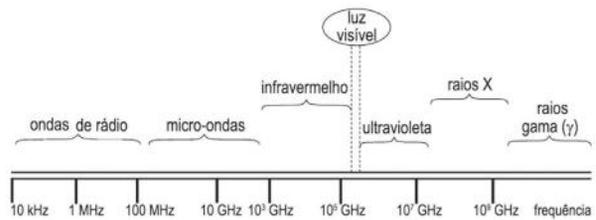




- Essa característica é bem útil em aplicações em que o calor é utilizado no tratamento de lesões musculares localizadas. Para essa faixa do espectro eletromagnético, as frequências, em Tera Hertz, ficam localizadas aproximadamente entre
- $780 \cdot 3 \cdot 10^8$ e $1400 \cdot 3 \cdot 10^8$
 - 780 e 1400
 - $380 \cdot 3 \cdot 10^8$ e $210 \cdot 3 \cdot 10^8$
 - 380 e 210

95. (Fatec-SP)

Estabelecer uma ligação no celular, sintonizar músicas no rádio ou assistir a um jogo da Copa do Mundo com transmissão ao vivo são fenômenos decorrentes da utilização de ondas eletromagnéticas que podem ser representadas pelo espectro eletromagnético a seguir.



Reprodução/Fatec, 2012

As ondas de frequências destinadas às telecomunicações recebem o nome de radiofrequência e estão inseridas numa parte desse espectro eletromagnético. A tabela seguinte mostra alguns intervalos dessas ondas.

	Rádio AM	TV aberta (VHF) e rádio FM	TV (via satélite)	Telefonia celular	Transmissões por fibras ópticas
Intervalos de frequência (valores próximos)	530 kHz a 1600 kHz	30 MHz a 300 MHz	3 GHz a 30 GHz	300 MHz a 3 GHz	10 ⁵ GHz a 10 ⁶ GHz

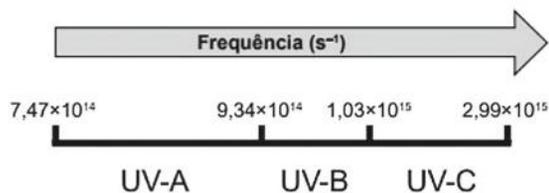
Reprodução/Fatec, 2012

De acordo com as informações da tabela e com o espectro eletromagnético, pode-se afirmar que as ondas de radiofrequência

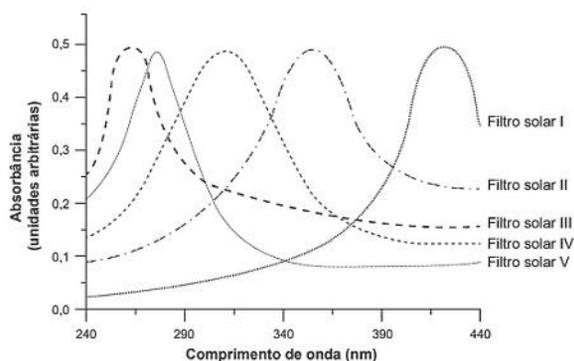
- de transmissões por fibras ópticas estão na faixa dos raios X.
- de rádio AM e FM estão na faixa do infravermelho.
- de TV (via satélite) estão na faixa das micro-ondas.
- de telefonia celular estão na faixa das micro-ondas.
- de rádio AM estão na faixa das micro-ondas.

96. (Enem)

A radiação ultravioleta (UV) é dividida, de acordo com três faixas de frequência, em UV-A, UV-B e UV-C, conforme a figura.



Para selecionar um filtro solar que apresente absorção máxima na faixa UV-B, uma pessoa analisou os espectros de absorção da radiação UV de cinco filtros solares:



Considere:

Velocidade da luz = $3,0 \cdot 10^8$ m/s e

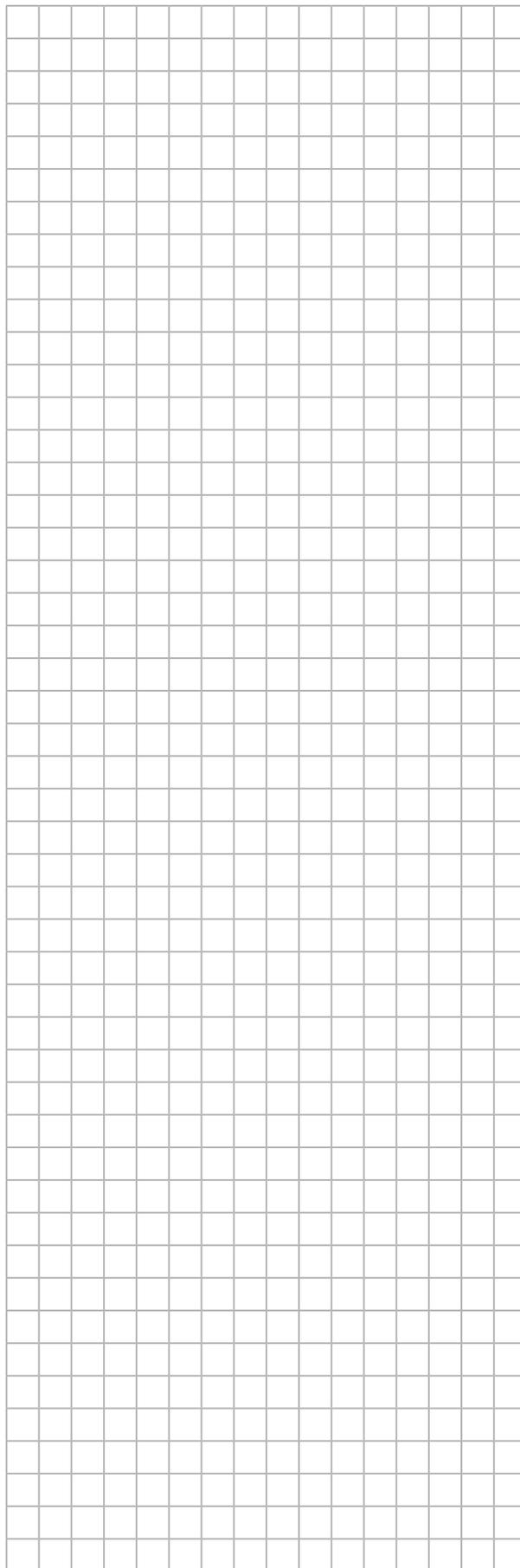
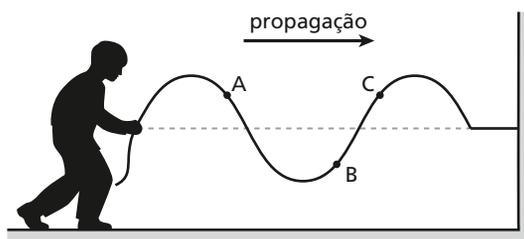
1 nm = $1,0 \cdot 10^{-9}$ m.

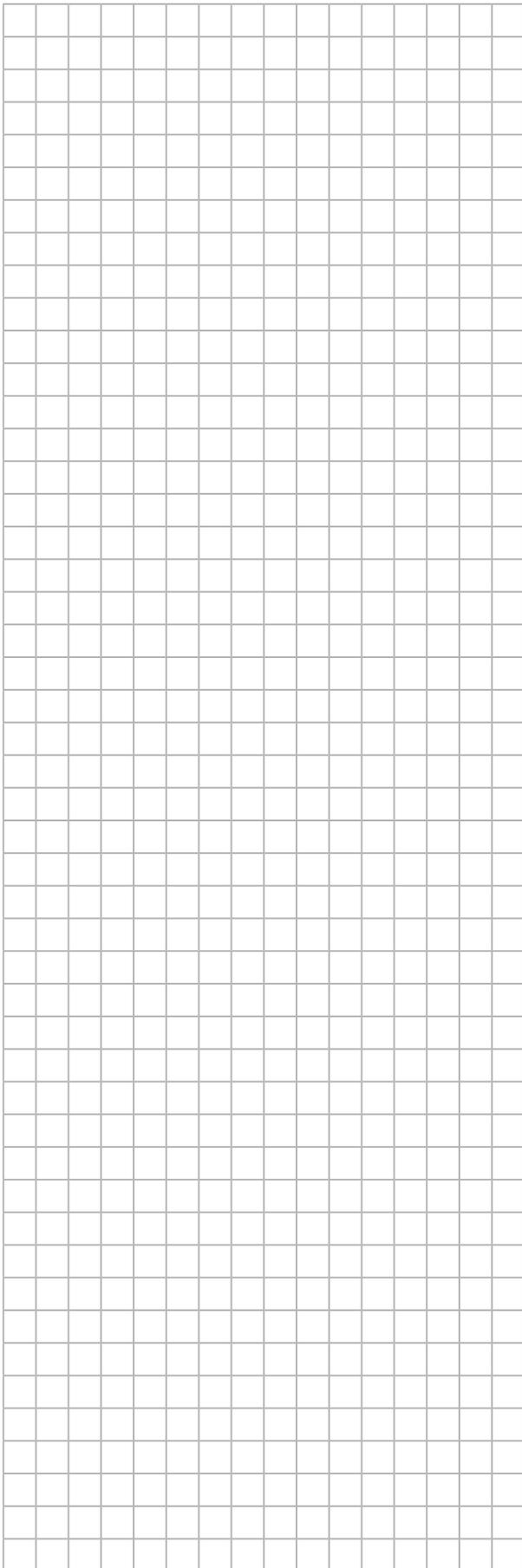
O filtro solar que a pessoa deve selecionar é o

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

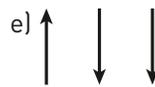
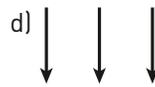
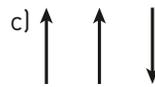
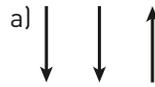
97. (Vunesp)

Uma corda homogênea e elástica tem uma de suas extremidades presa a uma parede vertical e a outra segurada por um garoto. Mantendo a corda tracionada, ele faz sua mão oscilar verticalmente, gerando pulsos na corda que se propagam para direita, com velocidade constante, conforme mostra a figura.





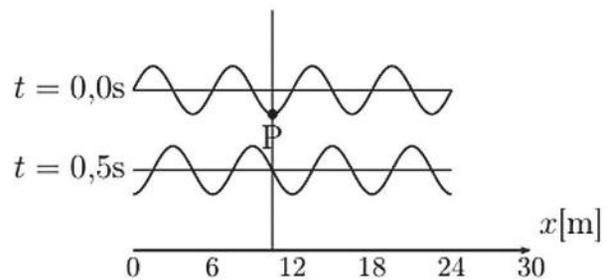
Assinale a alternativa que indica os vetores velocidade instantânea dos pontos A, B e C, respectivamente, no instante representado na figura.



98. (ITA-SP)

Uma onda harmônica propaga-se para a direita com velocidade constante em uma corda de densidade linear $\mu = 0,4 \text{ g/cm}$. A figura mostra duas fotos da corda, uma num instante $t = 0 \text{ s}$ e outra no instante $t = 0,5 \text{ s}$. Considere as seguintes afirmativas:

- I. A velocidade mínima do ponto **P** da corda é de 3 m/s .
- II. O ponto **P** realiza um movimento oscilatório com período de $0,4 \text{ s}$.
- III. A corda está submetida a uma tensão de $0,36 \text{ N}$.



Assinale a(s) afirmativa(s) possível(possíveis) para o movimento da onda na corda.

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

99. (IME-RJ)

Os pulsos emitidos verticalmente por uma fonte sonora situada no fundo de uma piscina de profundidade d são refletidos pela face inferior de um cubo de madeira de aresta a que boia na água da piscina, acima da fonte sonora. Um sensor situado na mesma posição da fonte capta as reflexões dos pulsos emitidos pela fonte sonora. Se o intervalo de tempo entre a emissão e captação de um pulso é Δt , determine a massa específica da madeira.

Dados:

- Velocidade do som na água: $v_s = 1500 \text{ m/s}$;
- Massa específica da água: $\rho_a = 10^3 \text{ kg/m}^3$;
- Profundidade da piscina: $d = 3,1 \text{ m}$;
- Aresta do cubo: $a = 0,2 \text{ m}$;
- Aceleração da gravidade: $g = 10 \text{ m/s}^2$;
- $\Delta t = 4 \text{ ms}$.

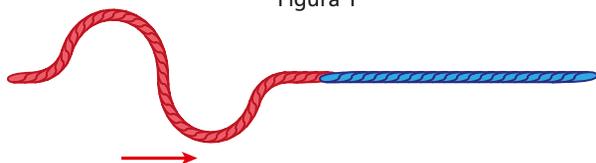
Consideração:

- o cubo boia com sua base paralela à superfície da água da piscina.

100. (Vunesp)

Duas cordas, uma vermelha e outra azul, estão unidas por uma de suas extremidades. Gera-se na corda vermelha o pulso indicado na figura 1.

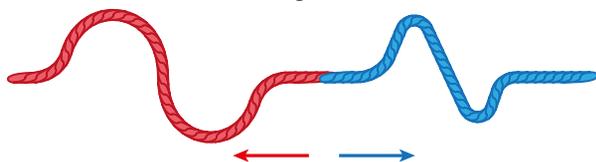
Figura 1



Banco de imagens/
Arquivo da editora

Após o pulso completo atingir o ponto de união, a configuração de ondas observadas tem o aspecto desenhado na figura 2.

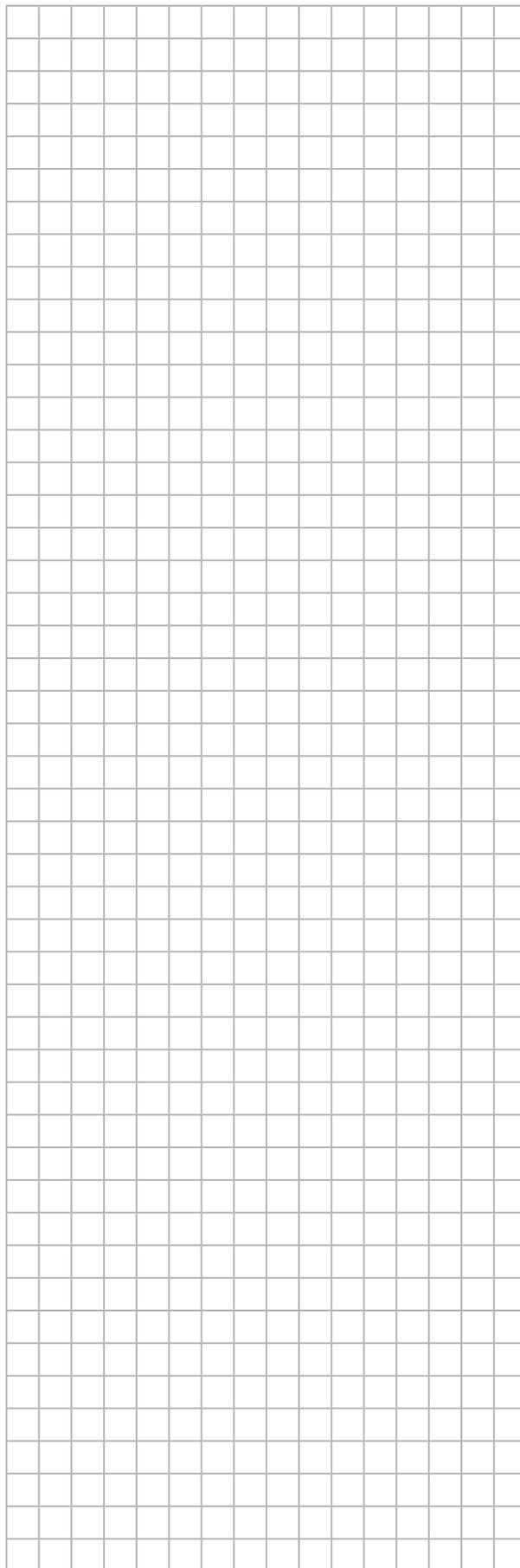
Figura 2

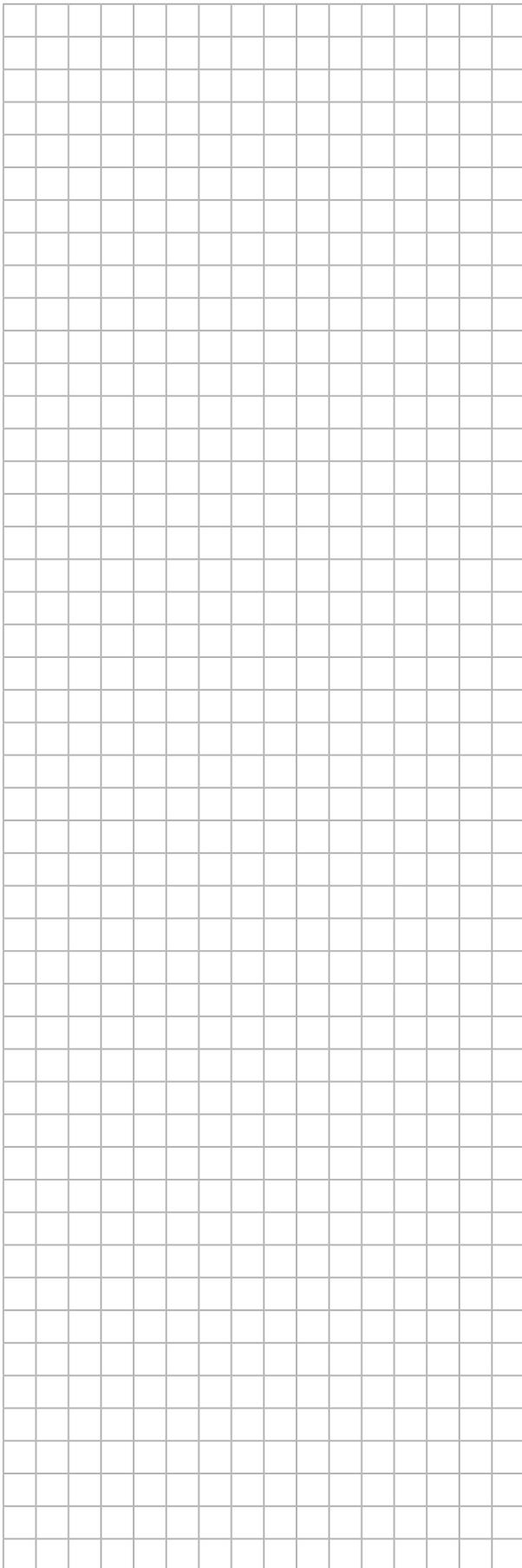


Banco de imagens/
Arquivo da editora

Analisando-se as figuras, é correto afirmar que a corda azul tem, relativamente à corda vermelha,

- maior densidade linear e, no ponto de junção, há refração sem inversão de fase e reflexão com inversão de fase.
- maior densidade linear e, no ponto de junção, há refração com inversão de fase e reflexão sem inversão de fase.

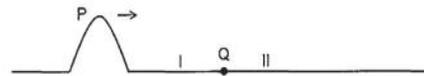




- c) igual densidade linear e, no ponto de junção, há difração sem inversão de fase.
- d) menor densidade linear e, no ponto de junção, há refração com inversão de fase e reflexão sem inversão da fase.
- e) menor densidade linear e, no ponto de junção, há refração sem inversão de fase e reflexão com inversão de fase.

101. (CPAEN-RJ)

Analise a figura abaixo.



Reprodução/CEPAEN, 2017

A figura acima representa um pulso **P** que se propaga em uma corda **I**, de densidade linear μ_I , em direção a uma corda **II**, de densidade linear μ_{II} . O ponto **Q** é o ponto de junção das duas cordas. Sabendo que $\mu_I > \mu_{II}$, o perfil da corda logo após a passagem do pulso **P** pela junção **Q** é melhor representado por

- a)
- b)
- c)
- d)
- e)

Ilustrações: Reprodução/CEPAEN, 2017

102. (ITA-SP)

Duas cordas de mesmo comprimento, de densidades lineares μ_1 e μ_2 , tendo a primeira o dobro da massa da outra, são interconectadas formando uma corda única afixada em anteparos interdistantes de ℓ . Dois pulsos propagam-se ao mesmo tempo em sentidos opostos nessa corda. Determine o instante e a posição em que os pulsos se encontram sabendo que a corda está submetida a uma tensão **T**.

103. (IME-RJ)

Uma corda mista sobre o eixo horizontal tem uma densidade linear para a coordenada $x < 0$ e outra para $x \geq 0$. Uma onda harmônica, dada por $A \sin(\omega t - k_1 x)$, onde t é o instante de tempo, propaga-se na região onde $x < 0$ e é parcialmente refletida e parcialmente transmitida em $x = 0$. Se a onda refletida e a transmitida são dadas por $B \sin(\omega t + k_1 x)$ e $C \sin(\omega t - k_2 x)$ respectivamente, onde ω , k_1 e k_2 são constantes, então a razão entre as amplitudes da onda refletida e da incidente, dada por $|B/A|$ é igual a:

Observação:

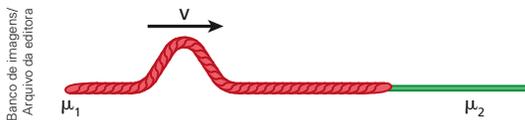
- considere $\frac{\sin(ax)}{x} = a$ para $|x|$ próximo a zero.

a) $\left| \frac{k_1 - k_2}{k_1 + 2k_2} \right|$ c) $\left| \frac{k_1 - k_2}{k_1} \right|$ e) $\left| \frac{k_1 - k_2}{k_1 + k_2} \right|$

b) $\left| \frac{k_1 - k_2}{2k_1 + k_2} \right|$ d) $\left| \frac{k_1 - k_2}{k_2} \right|$

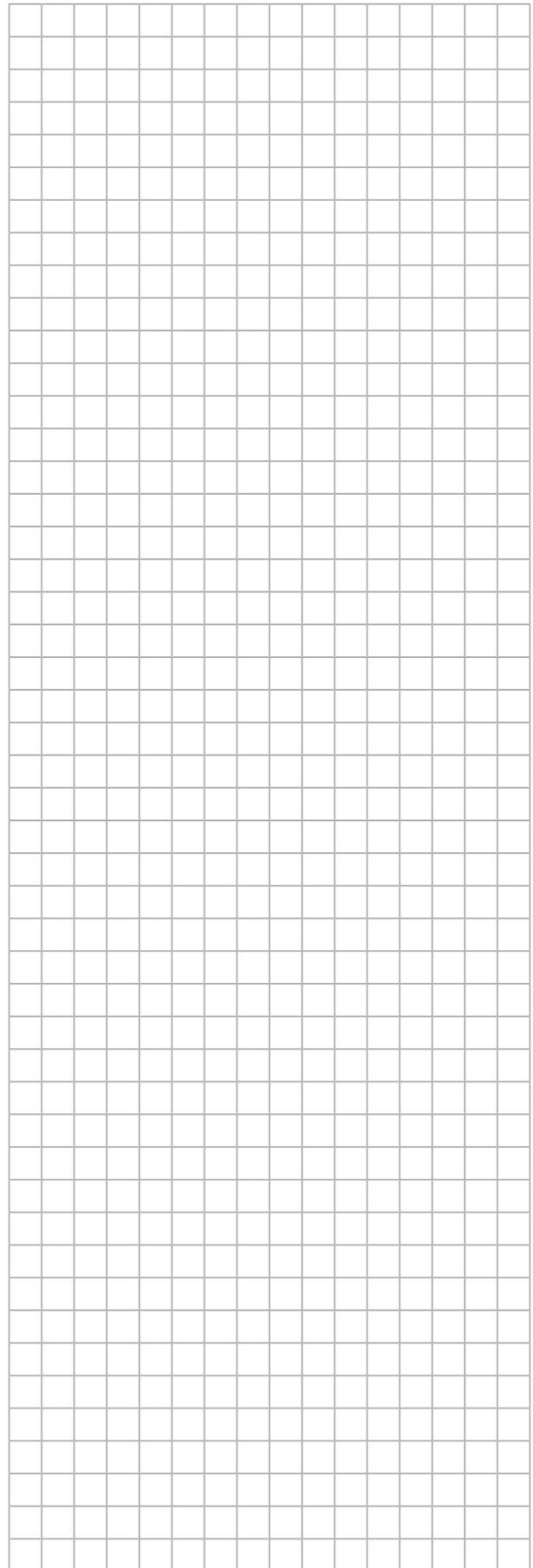
104. (PUC-SP)

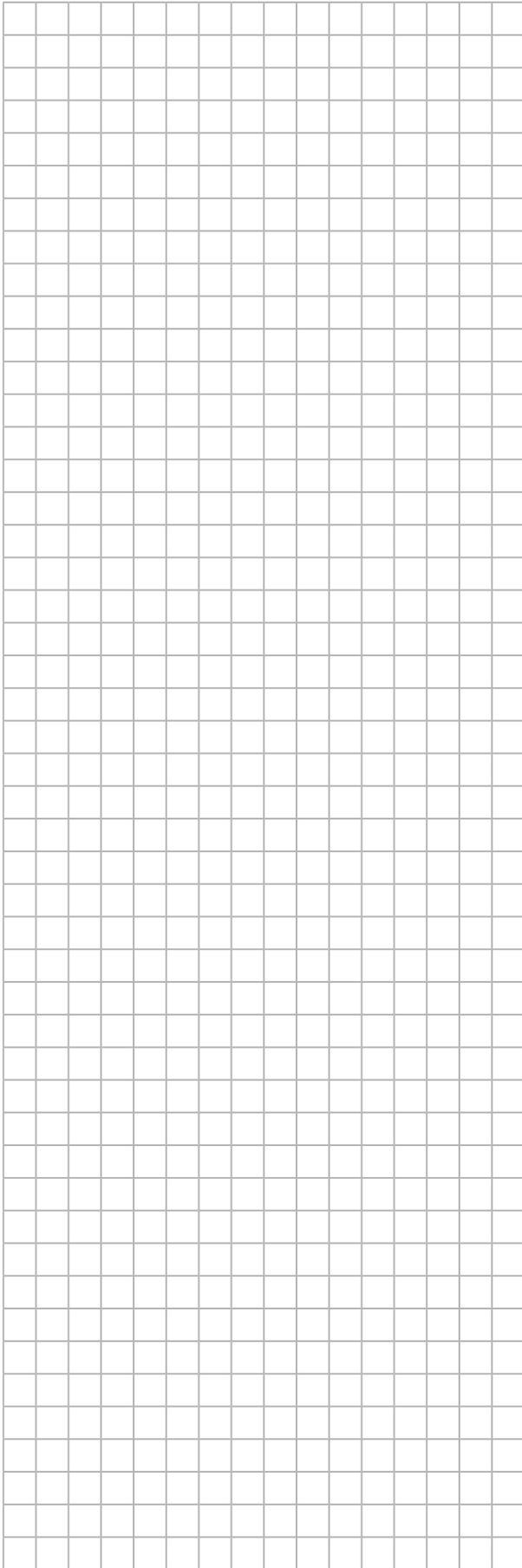
Considere um sistema formado por duas cordas elásticas diferentes, com densidades lineares μ_1 e μ_2 , tal que $\mu_1 > \mu_2$. Na corda de densidade linear μ_1 é produzido um pulso que se desloca com velocidade constante e igual a v , conforme indicado na figura abaixo. Após um intervalo de tempo Δt , depois de o pulso atingir a junção das duas cordas, verifica-se que o pulso refratado percorreu uma distância 3 vezes maior que a distância percorrida pelo pulso refletido.



Com base nessas informações, podemos afirmar, respectivamente, que a relação entre as densidades lineares das duas cordas e que as fases dos pulsos refletido e refratado estão corretamente relacionados na alternativa:

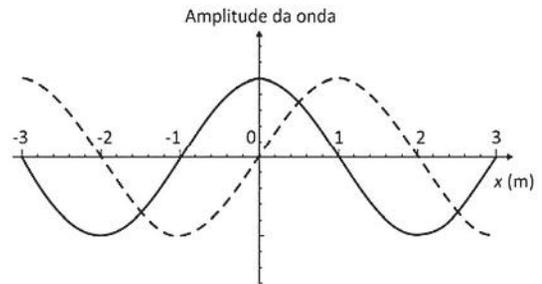
- a) $\mu_1 = 3\mu_2$, o pulso refletido sofre inversão de fase mas o pulso refratado não sofre inversão de fase.
- b) $\mu_1 = 3\mu_2$, os pulsos refletido e refratado não sofrem inversão de fase.
- c) $\mu_1 = 9\mu_2$, o pulso refletido não sofre inversão de fase mas o pulso refratado sofre inversão de fase.
- d) $\mu_1 = 9\mu_2$, os pulsos refletido e refratado não sofrem inversão de fase.





105. (Fuvest-SP)

A figura representa uma onda harmônica transversal, que se propaga no sentido positivo do eixo x , em dois instantes de tempo: $t = 3$ s (linha cheia) e $t = 7$ s (linha tracejada).



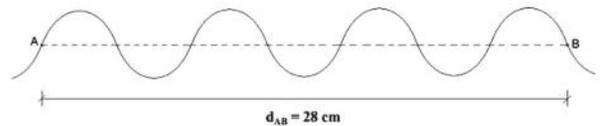
Reprodução/Fuvest, 2017

Dentre as alternativas, a que pode corresponder à velocidade de propagação dessa onda é

- a) 0,14 m/s
- b) 0,25 m/s
- c) 0,33 m/s
- d) 1,00 m/s
- e) 2,00 m/s

106. (Uern)

O período da onda periódica a seguir é 2,5 s.



Reprodução/UERN, 2015

É correto afirmar que a velocidade de propagação dessa onda é

- a) 1,8 cm/s
- b) 2,2 cm/s
- c) 2,6 cm/s
- d) 3,2 cm/s

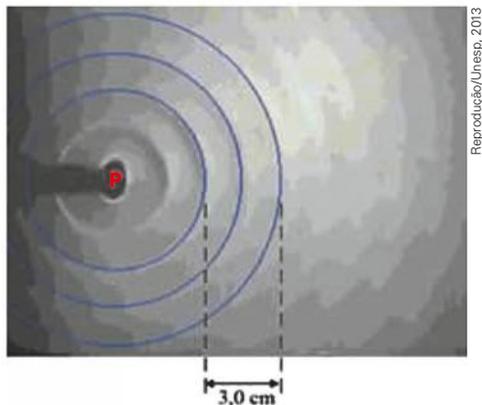
107. (SBF)

A rapidez v em m/s da propagação de ondas marítimas em alto-mar (onde a profundidade do mar é muito maior do que o comprimento da onda) é dada pela expressão $v = 1,25 \sqrt{\lambda}$, onde λ é o comprimento de onda em metros. Considere duas ondas com comprimento de 100 m e 400 m. A razão entre a frequência da onda mais longa pela frequência da onda mais curta é

- a) 0,25
- b) 0,5
- c) 2
- d) 4

108. (Unesp-SP)

A imagem, obtida em um laboratório didático, representa ondas circulares produzidas na superfície da água em uma cuba de ondas e, em destaque, três cristas dessas ondas. O centro gerador das ondas é o ponto P, perturbado periodicamente por uma haste vibratória.



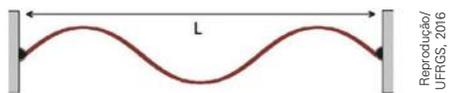
(<http://educar.sc.usp.br>. Adaptado.)

Considerando as informações da figura e sabendo que a velocidade de propagação dessas ondas na superfície da água é 13,5 cm/s, é correto afirmar que o número de vezes que a haste toca a superfície da água, a cada segundo, é igual a

- a) 4,5.
- b) 3,0.
- c) 1,5.
- d) 9,0.
- e) 13,5.

109. (UFRGS-RS)

A figura abaixo representa uma onda estacionária produzida em uma corda de comprimento $L = 50$ cm.

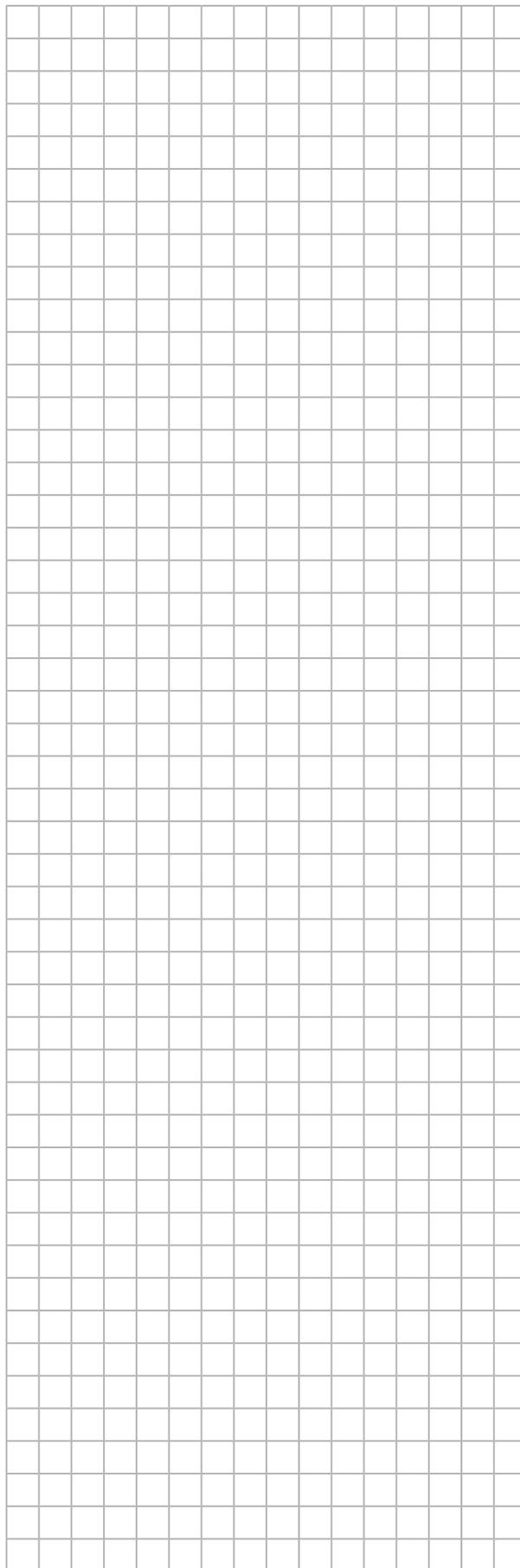


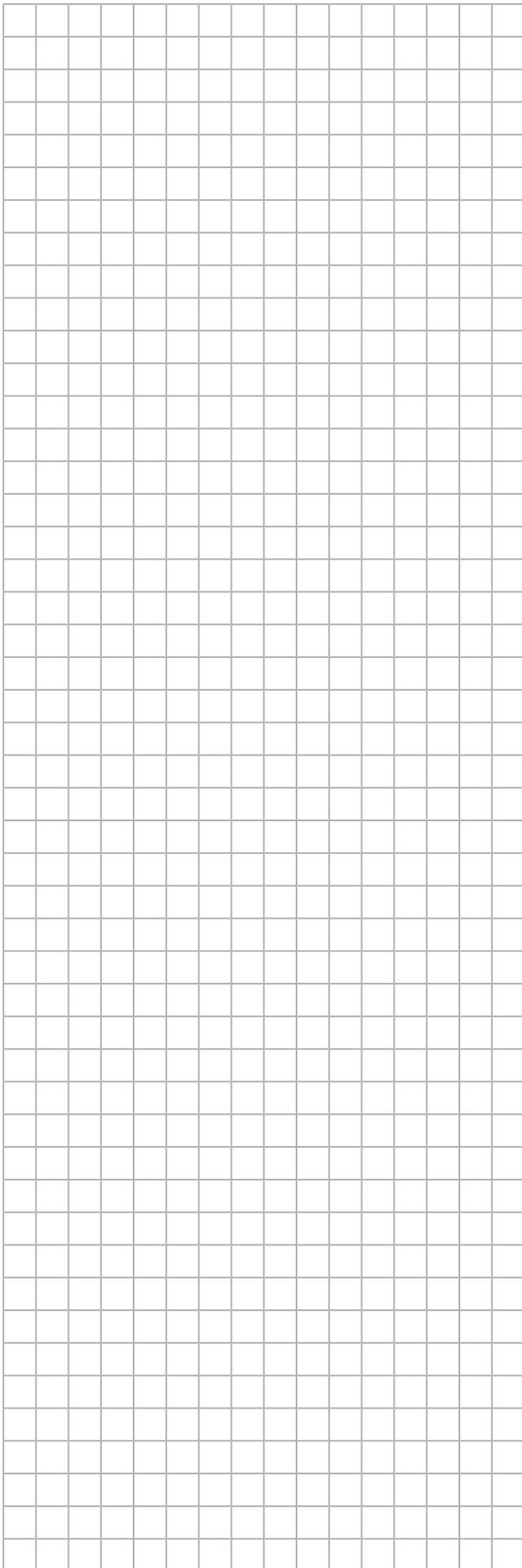
Sabendo que o módulo da velocidade de propagação de ondas nessa corda é 40 m/s, a frequência da onda é de

- a) 40 Hz
- b) 60 Hz
- c) 80 Hz
- d) 100 Hz
- e) 120 Hz

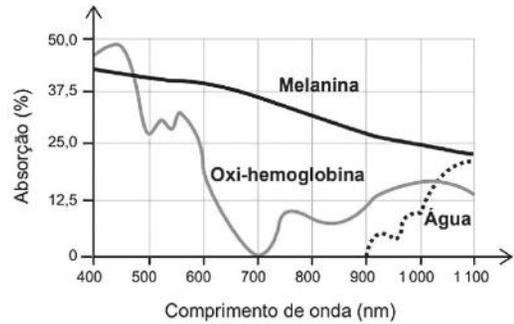
110. (Enem)

A epilação a *laser* (popularmente conhecida como depilação a *laser*) consiste na aplicação de uma fonte de luz para aquecer e causar uma lesão localizada e controlada nos folículos capilares. Para evitar que outros tecidos sejam danificados, selecionam-se comprimentos de





onda que são absorvidos pela melanina presente nos pelos, mas que não afetam a oxi-hemoglobina do sangue e a água dos tecidos da região em que o tratamento será aplicado. A figura mostra como é a absorção de diferentes comprimentos de onda pela melanina, oxi-hemoglobina e água.



MACEDO, F. S.; MONTEIRO, E. O. Epilação com laser e luz intensa pulsada. *Revista Brasileira de Medicina*. Disponível em: www.moreirajr.com.br. Acesso em: 4 set. 2015 (adaptado).

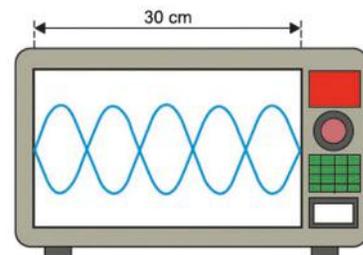
Reprodução/Enem, 2017

Qual é o comprimento de onda, em nm, ideal para a epilação a laser?

- a) 400
- b) 700
- c) 1100
- d) 900
- e) 500

111. (Famerp-SP)

Um forno de micro-ondas funciona fazendo com que as moléculas de água presentes nos alimentos vibrem, gerando calor. O processo baseia-se nos fenômenos da reflexão e interferência de ondas eletromagnéticas, produzindo ondas estacionárias dentro da cavidade do forno. Considere um forno de micro-ondas cuja cavidade interna tenha 30 cm de largura e que, dentro dele, se estabeleçam ondas estacionárias, conforme representado na figura.



Reprodução/Famerp, 2016

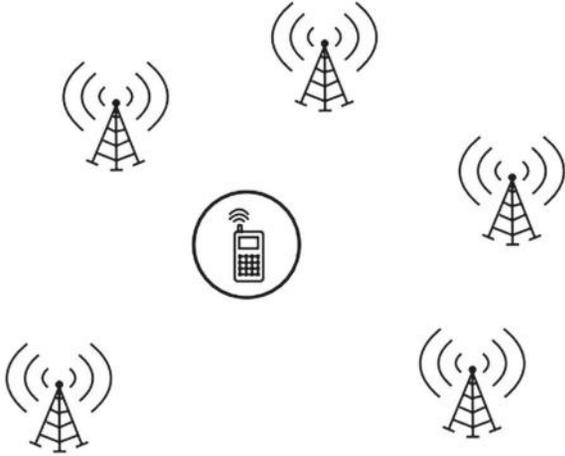
Sabendo que a velocidade de propagação das ondas eletromagnéticas no ar é de $3 \cdot 10^8$ m/s, a frequência de vibração das micro-ondas representadas dentro desse forno, em Hz, é igual a

- a) $2,2 \cdot 10^9$
- b) $3,2 \cdot 10^9$
- c) $2,0 \cdot 10^9$
- d) $3,6 \cdot 10^9$
- e) $2,5 \cdot 10^9$

112. (Enem)

Para obter a posição de um telefone celular, a polícia baseia-se em informações do tempo de resposta do aparelho em relação às torres de celular da região de onde se originou a ligação. Em uma região, um aparelho está na área de cobertura de cinco torres, conforme o esquema.

Reprodução/Enem, 2015

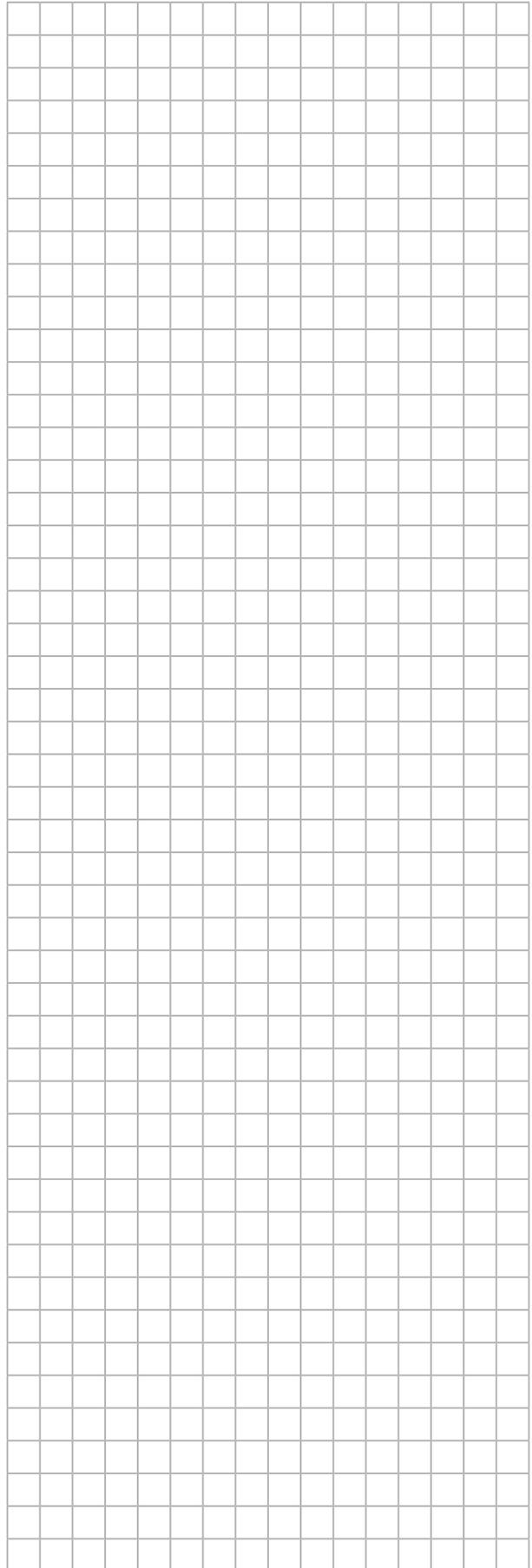


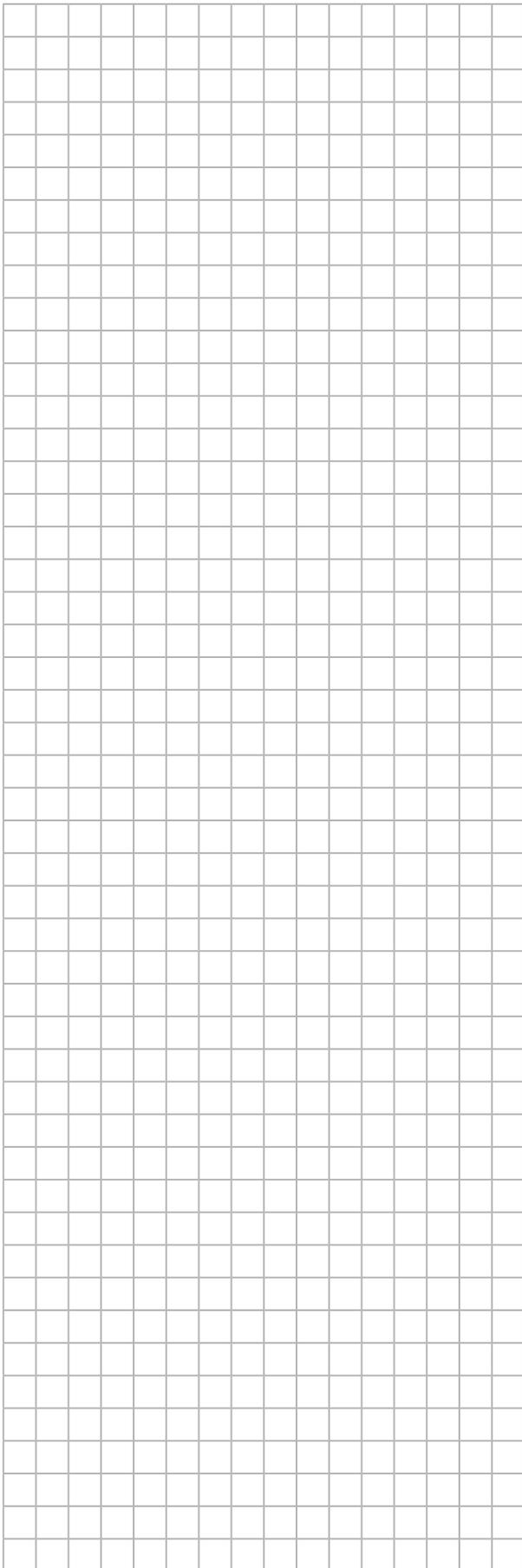
Considerando que as torres e o celular são pontiformes e que estão sob o mesmo plano, qual o número mínimo de torres necessárias para se localizar a posição do telefone celular que originou a ligação?

- a) Uma
- b) Duas
- c) Três
- d) Quatro
- e) Cinco

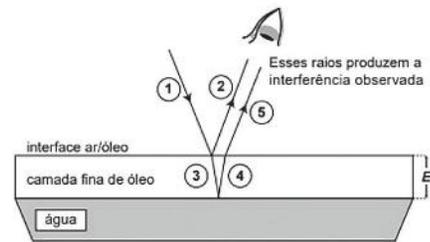
113. (Enem)

Certos tipos de superfícies na natureza podem refletir luz de forma a gerar um efeito de arco-íris. Essa característica é conhecida como iridescência e ocorre por causa do fenômeno da interferência de película fina. A figura ilustra o esquema de uma fina camada iridescente de óleo sobre uma poça d'água. Parte do feixe de luz branca incidente (1) reflete na interface ar/óleo e sofre inversão de fase (2), o que equivale a uma mudança de meio comprimento de onda. A parte refratada do feixe (3) incide na interface óleo/água e sofre reflexão sem inversão de fase (4). O observador indicado enxergará aquela região do filme com coloração equivalente à do comprimento de onda que sofre interferência completamente construtiva entre os raios (2) e (5), mas essa condição só é possível para uma





espessura mínima da película. Considere que o caminho percorrido em (3) e (4) corresponde ao dobro da espessura e da película de óleo.



Disponível em: <http://2011.igem.org>. Acesso em: 18 nov. 2014 (adaptado).

Reprodução/Enem, 2015

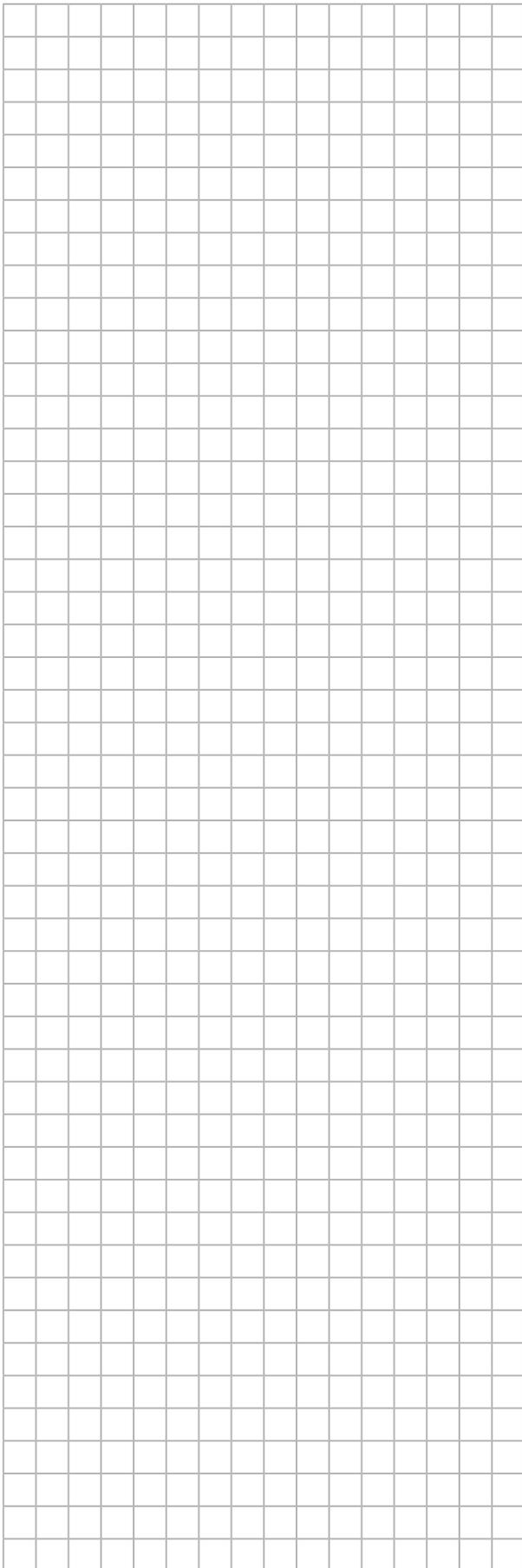
Expressa em termos do comprimento de onda (λ), a espessura mínima é igual a

- a) $\frac{\lambda}{4}$ c) $\frac{3\lambda}{4}$ e) 2λ
b) $\frac{\lambda}{2}$ d) λ

114. (UFJF-MG)

A radiação produzida por um forno de micro-ondas interage com as moléculas de água e gordura contidas nos alimentos fazendo-as oscilar com uma frequência próxima de 3,0 GHz ($3,0 \cdot 10^9$ Hz), o que caracteriza o fenômeno da ressonância. Essa oscilação é capaz de produzir calor, o que aquece o alimento, podendo provocar seu cozimento.

- a) Considerando-se que a potência de um determinado forno de micro-ondas é de 1200 W e que sua eficiência em transformar energia elétrica em energia térmica é de 50%, qual o intervalo de tempo necessário para aquecer meio litro de água de 20 °C até 50 °C?
Adote nos cálculos os seguintes dados:
Densidade absoluta da água: 1,0 kg/L
Calor específico sensível da água:
 $4,0 \cdot 10^3$ J/kg · °C
- b) Sabendo-se que as radiações eletromagnéticas se propagam no ar com velocidade de intensidade $3,0 \cdot 10^8$ m/s, calcule o comprimento de onda das micro-ondas no interior do forno;
- c) O forno de micro-ondas pode ser considerado uma cavidade ressonante, desde que a frequência das ondas provenientes do magnetron seja exatamente uma frequência ressonante para a cavidade. Nesse caso, as ondas eletromagnéticas em seu interior terão nodos nas paredes do forno. Sabendo-se que a distância entre duas laterais consecutivas é $D = 50$ cm, determine o número n de antinodos existentes nas ondas estacionárias presentes ao longo desse comprimento.

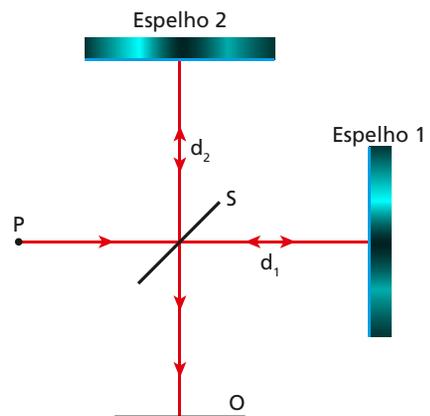


Analise as afirmações a seguir e associe às verdadeiras o código (V) e às falsas o código (F):

- (01) Em todos os pontos da reta **x** o observador constata **interferência** construtiva entre os sons provenientes de **A** e de **B**.
- (02) Percorrendo a reta **x** da esquerda para a direita até o ponto de intersecção com a reta **y**, o observador detecta um aumento progressivo do nível de intensidade sonora.
- (03) Percorrendo a reta **x** da esquerda para a direita a partir do ponto de intersecção com a reta **y**, o observador detecta uma diminuição progressiva do nível de intensidade sonora.
- (04) Percorrendo a reta **y** de baixo para cima até o alto-falante **B**, o observador detecta nível nulo de intensidade sonora.
- (05) Percorrendo a reta **y** de baixo para cima do alto-falante **B** até o alto-falante **A**, o observador primeiro registra um aumento progressivo de nível de intensidade sonora para depois detectar uma diminuição progressiva deste mesmo nível.
- (06) Percorrendo a reta **y** de baixo para cima a partir do alto-falante **A**, o observador detecta nível nulo de intensidade sonora.

118. (Unicamp-SP)

Pode-se detectar a deflexão de uma haste usando-se o interferômetro ilustrado na figura abaixo. Nele, um feixe de luz de comprimento de onda λ parte do ponto P e é dividido em dois pelo espelho semitransparente S. A partir desse ponto, os feixes percorrem caminhos ópticos diferentes, antes de atingirem o anteparo O.



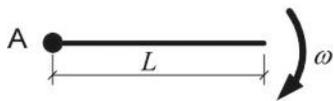
Banco de imagens/Arquivo da editora

Há interferência construtiva no anteparo quando os feixes percorrem distâncias que diferem entre si de $\Delta d = n\lambda$, onde n é um número inteiro.

Caso as distâncias percorridas difiram de $\Delta d = \left(n + \frac{1}{2}\right)\lambda$, a interferência é destrutiva para luz com frequência $f = 5,0 \cdot 10^{14}$ Hz. Sabendo que a velocidade da luz é $c = 3,0 \cdot 10^8$ m/s, a menor distância que o Espelho 2 deve ser deslocado para que ocorra interferência destrutiva é de

- a) 50 nm
- b) 150 nm
- c) 300 nm
- d) 600 nm

119. (IME-RJ)



Reprodução/IME, 2016

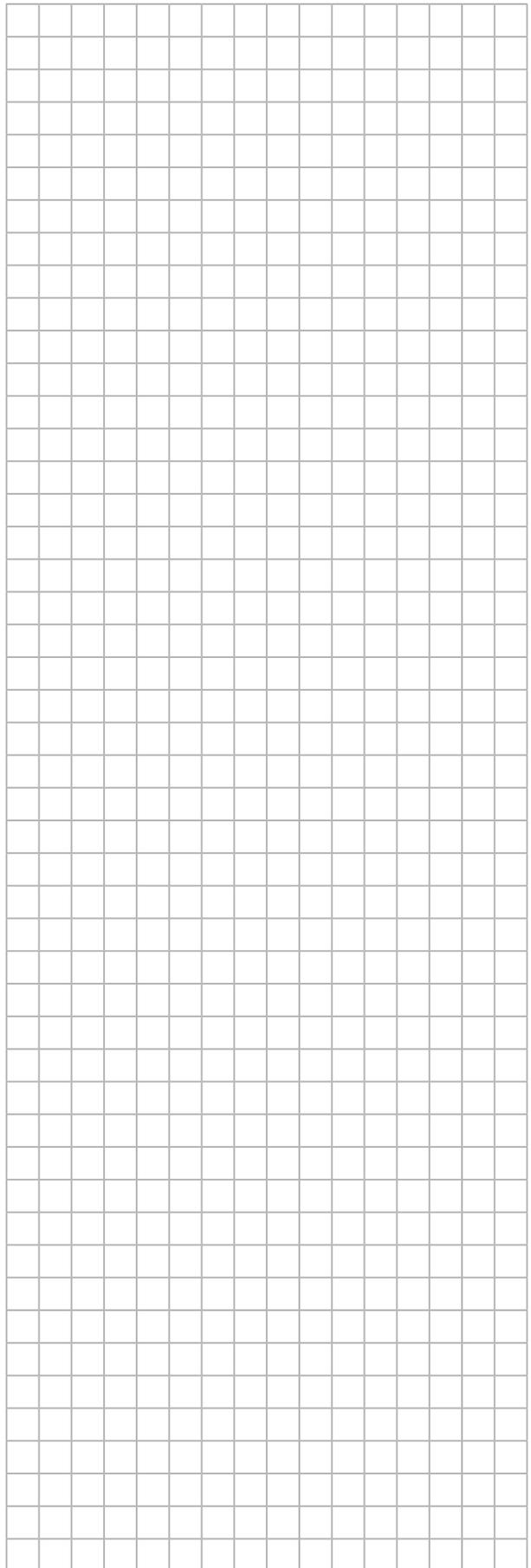
Uma corda de comprimento L e densidade linear constante gira em um plano em torno da extremidade fixa no ponto A a uma velocidade angular constante igual a ω . Um pulso ondulatório é gerado a partir de uma das extremidades. A velocidade v do pulso, no referencial da corda, a uma distância r da extremidade fixa é dada por

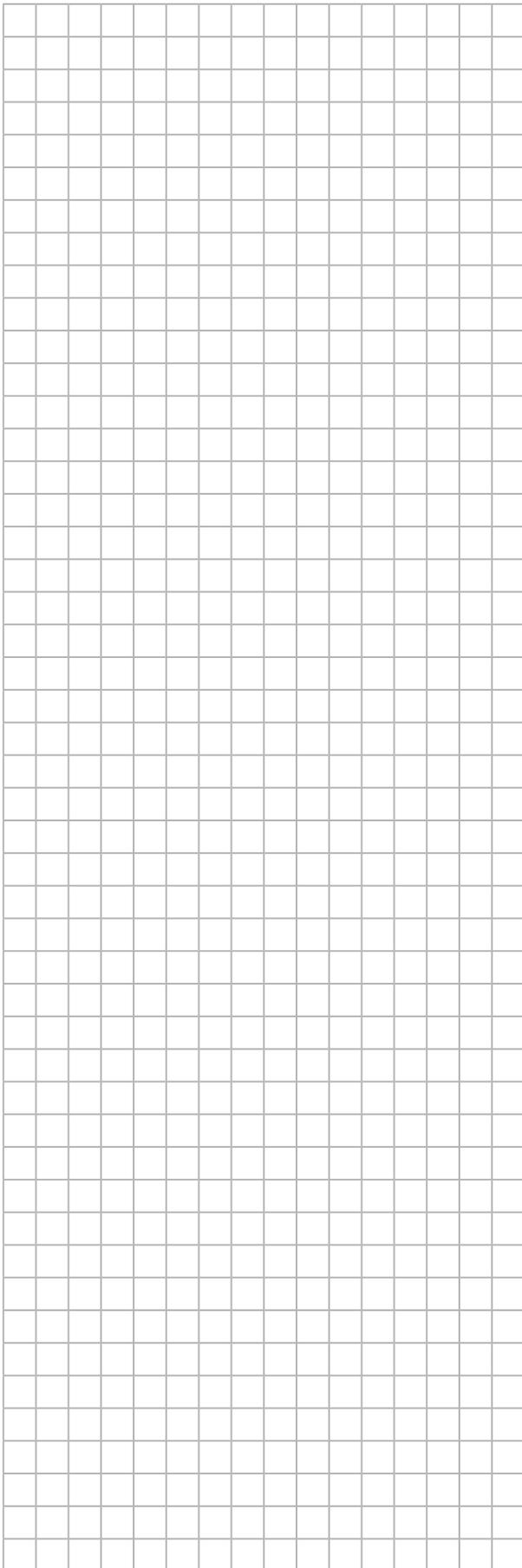
- a) $\omega \frac{L-r}{\sqrt{2}}$
- b) $\omega \sqrt{\frac{L(L-r)}{2}}$
- c) $\frac{\omega}{\sqrt{2L}}(L^2 - r^2)$
- d) $\omega \sqrt{\frac{L^2 - r^2}{2}}$
- e) $\frac{\omega L}{\sqrt{2}} \sqrt{\frac{L-r}{L+r}}$

120. (SBF)

Um dos métodos de determinação da velocidade de propagação do som em gases consiste em produzir ressonância em um tubo excitado por uma onda sonora com frequência conhecida. Ao variar o comprimento da coluna de gás dentro do tubo determina-se a distância entre nodos (ou antinodos) consecutivos da onda estacionária no tubo. Nesse caso o fenômeno que ocorre com as ondas sonoras no interior do tubo explicando a ressonância é denominado

- a) Difração
- b) Polarização
- c) Refração
- d) Interferência





121. Na fotografia abaixo podem ser observados osciladores massa-lâmina articulados em uma mesma base fixa. As lâminas de aço com mesma largura são muito flexíveis e estão encimadas por corpos rígidos de materiais de alta densidade.



Reprodução/azeiteb.com.br

Colocando-se um dos osciladores mais longos a oscilar para frente e para trás, verifica-se que apenas o outro de igual comprimento também oscila. Colocando-se um dos osciladores mais curtos a oscilar para frente e para trás, verifica-se que apenas o outro de igual comprimento também oscila.

Essas observações conduziram alguns alunos às seguintes afirmações:

- (I) **Bruno:** “As massas fixadas nas extremidades dos osciladores mais longos são iguais entre si, o mesmo ocorrendo com as massas fixadas nas extremidades dos osciladores mais curtos.”
- (II) **Ana Paula:** “O fato de um oscilador mais longo transmitir suas vibrações ao outro oscilador mais longo, caracteriza o fenômeno da ressonância”.
- (III) **Pedro:** “Os osciladores, enquanto em vibração, realizam movimentos harmônicos simples como se verifica em um oscilador massa-mola ideal.

Das três afirmações, estão corretas apenas:

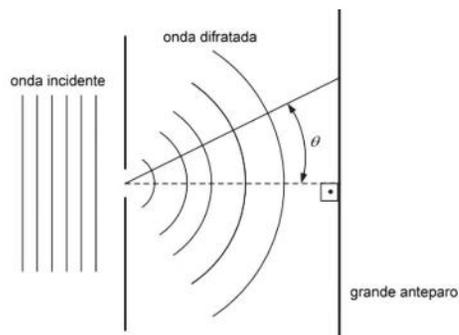
- a) (I)
- b) (II)
- c) (III)
- d) (I) e (II)
- e) (II) e (III)

122. (Enem)

Ao assistir a uma apresentação musical, um músico que estava na plateia percebeu que conseguia ouvir quase perfeitamente o som da banda, perdendo um pouco de nitidez nas notas mais agudas. Ele verificou que havia muitas pessoas bem mais altas à sua frente, bloqueando a visão direta do palco e o acesso aos alto-falantes. Sabe-se que a velocidade do som no ar é 340 m/s e que a região de frequências das notas emitidas é de, aproximadamente, 20 Hz a 4 000 Hz. Qual fenômeno ondulatório é o principal responsável para que o músico percebesse essa diferenciação do som?

- a) Difração
- b) Reflexão
- c) Refração
- d) Atenuação
- e) Interferência

123. (IME-RJ)

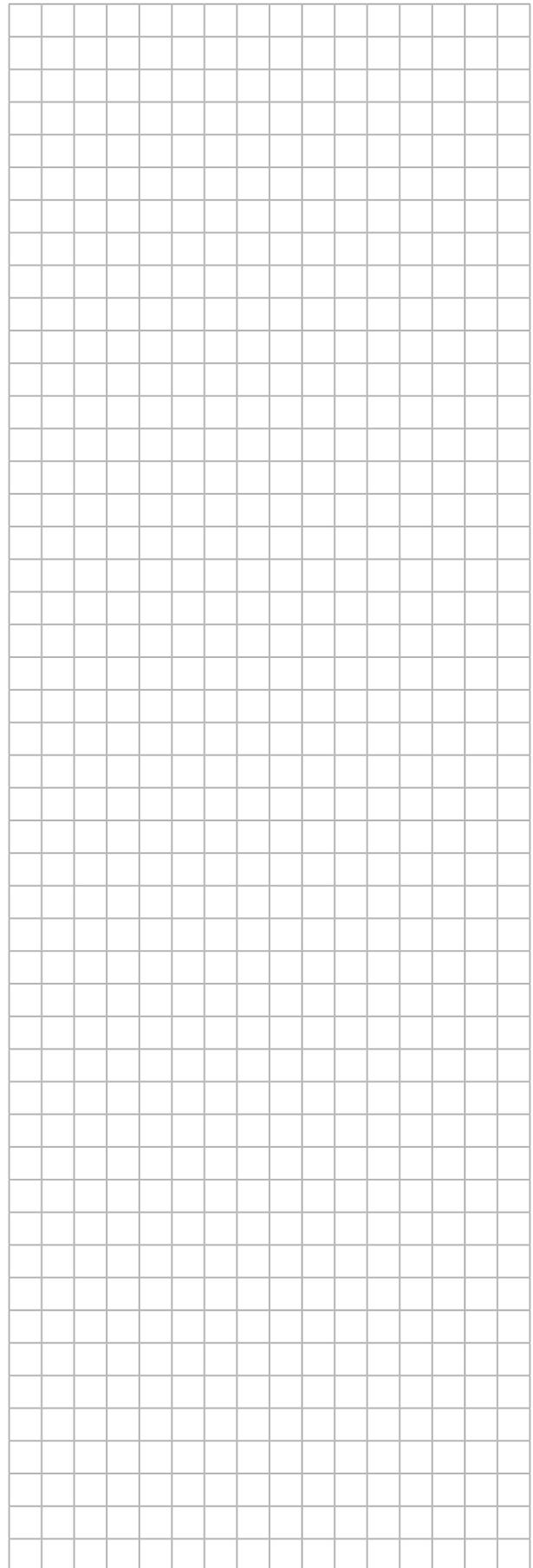


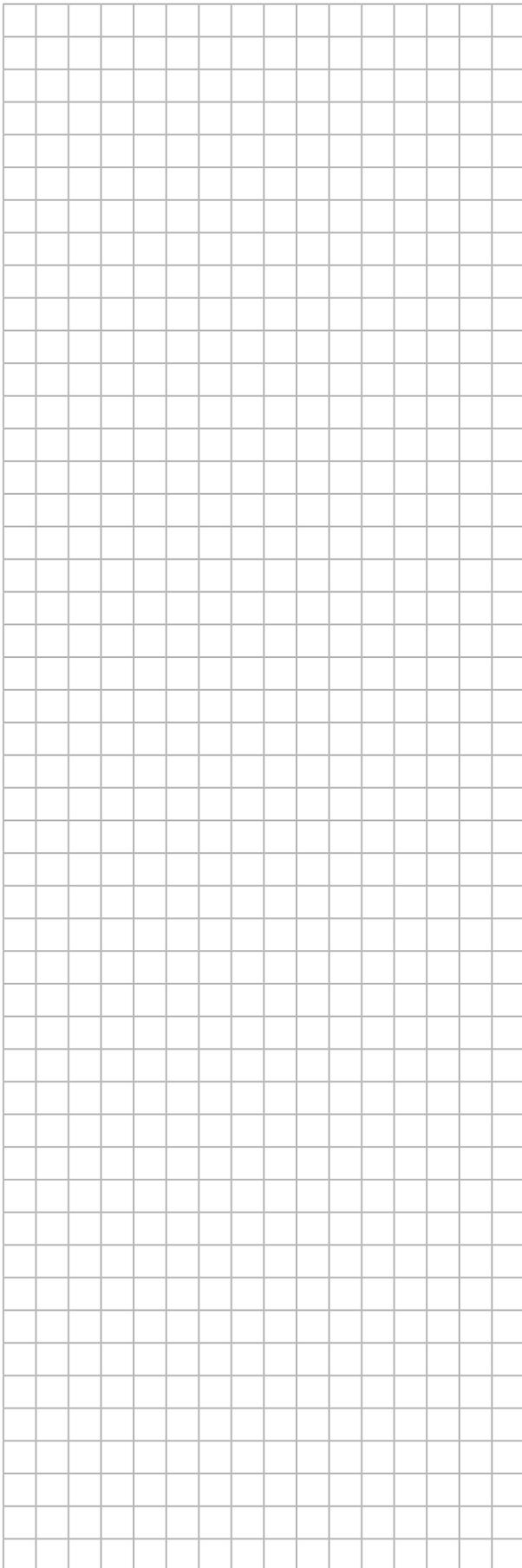
Reprodução/IME, 2016

Uma fenda é iluminada com luz monocromática cujo comprimento de onda é igual a 510 nm. Em um grande anteparo, capaz de refletir toda a luz que atravessa a fenda, são observados apenas cinco mínimos de intensidade de cada lado do máximo central. Sabendo que um dos mínimos encontra-se em θ , tal que $\sin(\theta) = \frac{3}{4}$ e $\cos(\theta) = \frac{\sqrt{7}}{4}$, determine a largura da fenda.

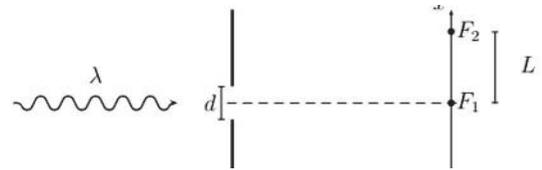
124. (ITA-SP)

A figura mostra dois anteparos opacos à radiação, sendo um com fenda de tamanho variável d , com centro na posição $x = 0$, e o outro com dois fotodetectores de intensidade da radiação, tal que F_1 se situa em $x = 0$ e F_2 , em $x = L > 4d$. No sistema incide radiação eletromagnética de comprimento de onda λ constante. Num primeiro experimento, a relação entre d e λ é tal que $d \gg \lambda$, e são feitas as seguintes afirmativas: I. Só F_1 detecta radiação. II. F_1 e F_2 detectam radiação.





III. F_1 não detecta e F_2 detecta radiação. Num segundo experimento, d é reduzido até à ordem do comprimento de λ e, neste caso, são feitas estas afirmativas: IV. F_2 detecta radiação de menor intensidade que a detectada em F_1 . V. Só F_1 detecta radiação. VI. Só F_2 detecta radiação.

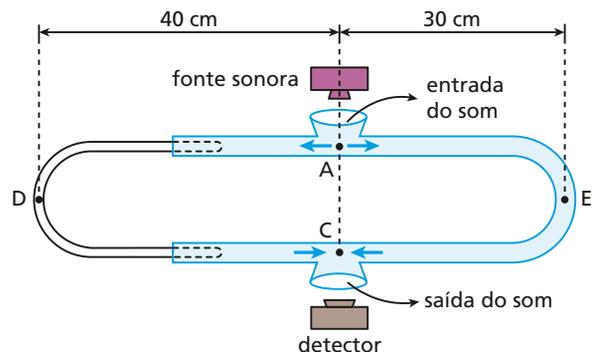


Reprodução/ITA 2017

Assinale as afirmativas possíveis para a detecção da radiação em ambos os experimentos.

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

125. O trombone de Quincke é um dispositivo experimental utilizado para demonstrar o fenômeno da interferência de ondas sonoras. Uma fonte emite ondas sonoras de determinada frequência na entrada do dispositivo. Essas ondas se dividem pelos dois caminhos (**ADC** e **AEC**) e se encontram no ponto **C**, a saída do dispositivo, onde se posiciona um detector. O trajeto **ADC** pode ser aumentado pelo deslocamento dessa parte do dispositivo. Com o trajeto **ADC** igual ao **AEC**, capta-se um som muito intenso na saída. Entretanto, aumentando-se gradativamente o trajeto **ADC**, até que ele fique como mostrado na figura, a intensidade do som na saída fica praticamente nula. Dessa forma, conhecida a velocidade do som no interior do tubo (320 m/s), é possível determinar o valor da frequência do som produzido pela fonte.



Banco de Imagens/Arquivo da editora

O valor da frequência, em hertz, do som produzido pela fonte sonora é

- | | | |
|----------|--------|--------|
| a) 3 200 | c) 800 | e) 400 |
| b) 1 600 | d) 640 | |

126. (Fuvest-SP)

Miguel e João estão conversando, parados em uma esquina próxima a sua escola, quando escutam o toque da sirene que indica o início das aulas. Miguel continua parado na esquina, enquanto João corre em direção à escola. As ondas sonoras propagam-se, a partir da sirene, em todas as direções, com comprimento de onda $\lambda = 17 \text{ cm}$ e velocidade $V_s = 340 \text{ m/s}$ em relação ao ar. João se aproxima da escola com velocidade de módulo $v = 3,4 \text{ m/s}$ e direção da reta que une sua posição à da sirene. Determine

- a frequência f_M do som da sirene percebido por Miguel parado na esquina;
- a velocidade v_R do som da sirene em relação a João correndo;
- a frequência f_J do som da sirene percebido por João quando está correndo.

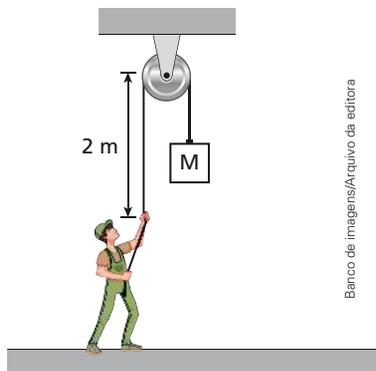
Miguel, ainda parado, assobia para João, que continua correndo. Sendo o comprimento de onda do assobio igual a 10 cm , determine

- a frequência f_A do assobio percebido por João.

Note e adote: Considere um dia seco e sem vento.

127. (PUC-SP)

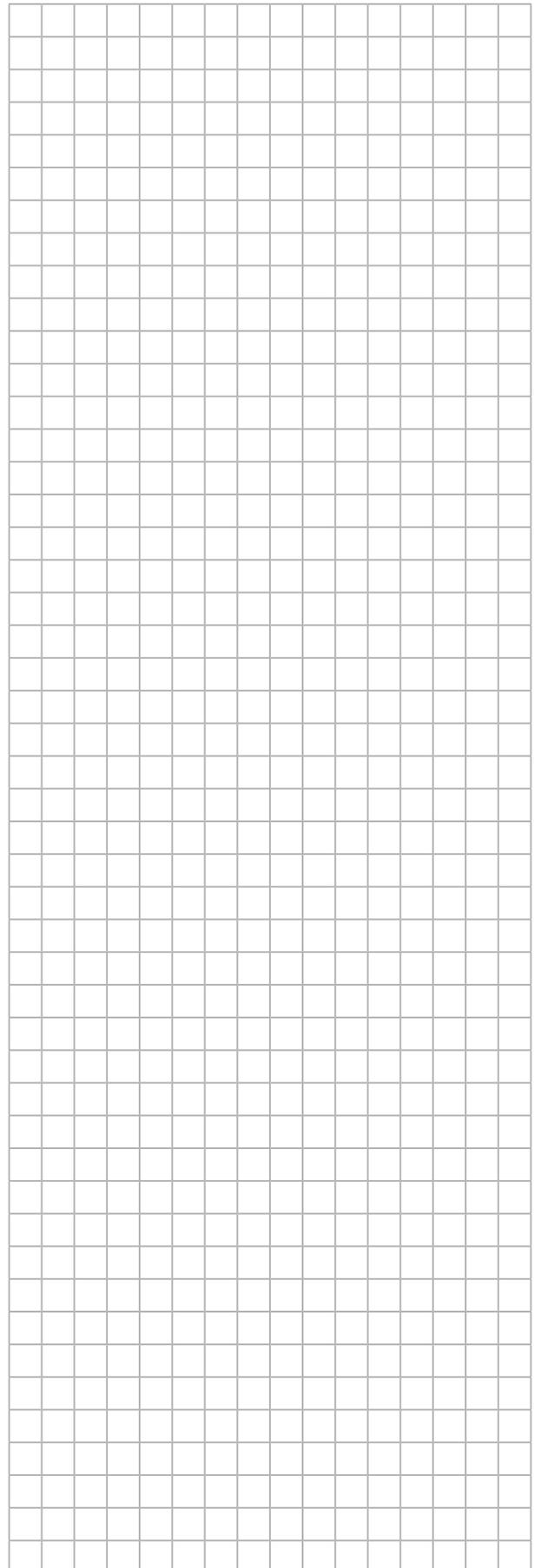
Um homem mantém em equilíbrio estático um bloco preso a uma corda de densidade linear igual a $0,01 \text{ Kg/m}$, conforme a figura.

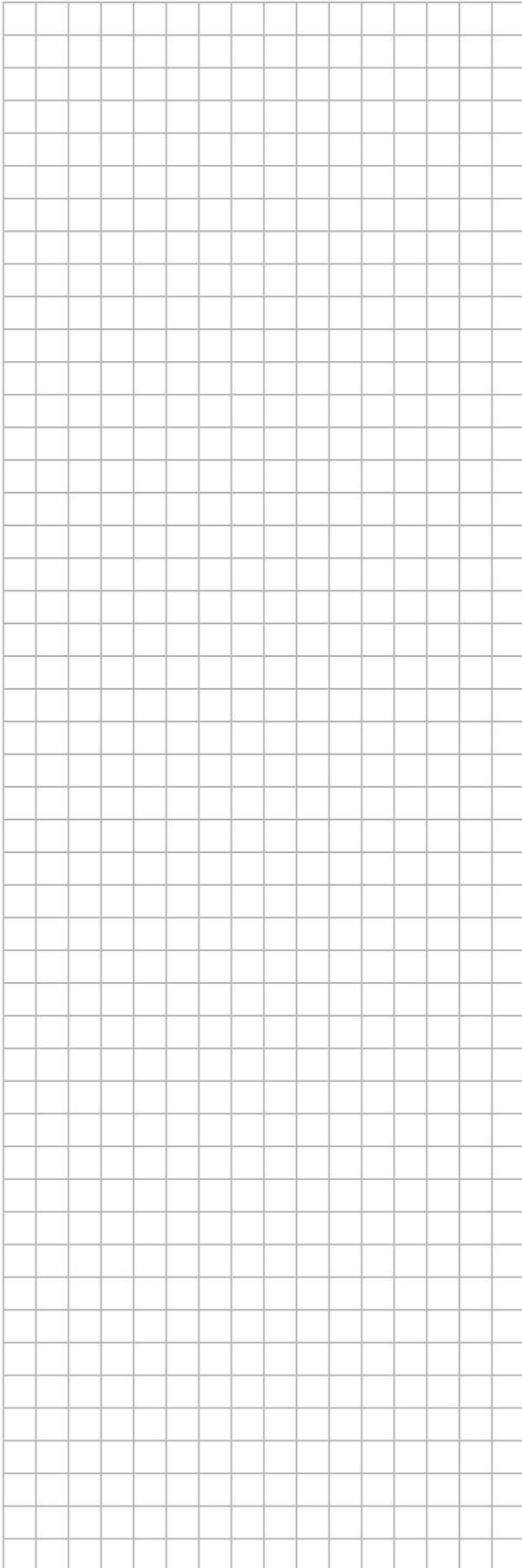


Determine a massa M do bloco, sabendo que as frequências de duas harmônicas consecutivas de uma onda estacionária no trecho vertical de 2 m da corda correspondem a 150 Hz e 175 Hz .

Dado $g = 10 \text{ m/s}^2$.

- 10^2 g
- 10^3 g
- 10^4 g
- 10^5 g
- 10^6 g





128. (Enem)

Ao ouvir uma flauta e um piano emitindo a mesma nota musical, consegue-se diferenciar esses instrumentos um do outro. Essa diferenciação se deve principalmente ao(a)

- a) intensidade sonora do som de cada instrumento musical.
- b) potência sonora do som emitido pelos diferentes instrumentos musicais.
- c) diferente velocidade de propagação do som emitido por cada instrumento musical.
- d) timbre do som, que faz com que os formatos das ondas de cada instrumento sejam diferentes.
- e) altura do som, que possui diferentes frequências para diferentes instrumentos musicais.

129. (Enem)

O morcego emite pulsos de curta duração de ondas ultrassônicas, os quais voltam na forma de ecos após atingirem objetos no ambiente, trazendo informações a respeito das suas dimensões, suas localizações e dos seus possíveis movimentos. Isso se dá em razão da sensibilidade do morcego em detectar o tempo gasto para os ecos voltarem, bem como das pequenas variações nas frequências e nas intensidades dos pulsos ultrassônicos. Essas características lhe permitem caçar pequenas presas mesmo quando estão em movimento em relação a si. Considere uma situação unidimensional em que uma mariposa se afasta, em movimento retilíneo, de um morcego em repouso.

A distância e velocidade da mariposa, na situação descrita, seriam detectadas pelo sistema de um morcego por quais alterações nas características dos pulsos ultrassônicos?

- a) Intensidade diminuída, o tempo de retorno aumentado e a frequência percebida diminuída.
- b) Intensidade aumentada, o tempo de retorno diminuído e a frequência percebida diminuída.
- c) Intensidade diminuída, o tempo de retorno diminuído e a frequência percebida aumentada.
- d) Intensidade diminuída, o tempo de retorno aumentado e a frequência percebida aumentada.
- e) Intensidade aumentada, o tempo de retorno aumentado e a frequência percebida aumentada.

130. (UEA-AM)

A escultura *Vírgula*, do artista Po Wang Shu, exposta na Universidade de Tecnologia do Texas, é uma esfera de aço inoxidável, que reflete o movimento dos pedestres e a paisagem do local.



(www.depts.ttu.edu)

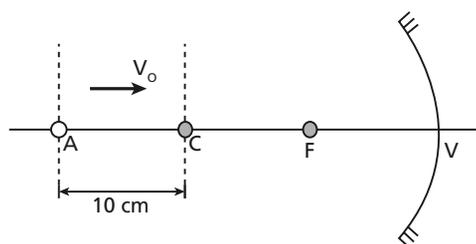
Considere que, quando uma pessoa permanece parada a 2,0 m de distância da esfera, ela vê sua imagem com altura igual a um quinto da medida de sua altura real. Considerando-se válidas as condições de nitidez de Gauss, é correto afirmar que a escultura funciona como um espelho esférico cujo módulo da distância focal é igual a

- a) 0,2 m
- b) 0,5 m
- c) 0,6 m
- d) 0,8 m
- e) 1,0 m

131. (OBF)

Um objeto pontual desloca-se com velocidade escalar constante de módulo igual a 10 cm/s, aproximando-se do vértice V de um espelho esférico côncavo (gaussiano) cuja distância focal vale 10 cm, conforme a figura seguinte.

Banco de imagens/Arquivo de editora



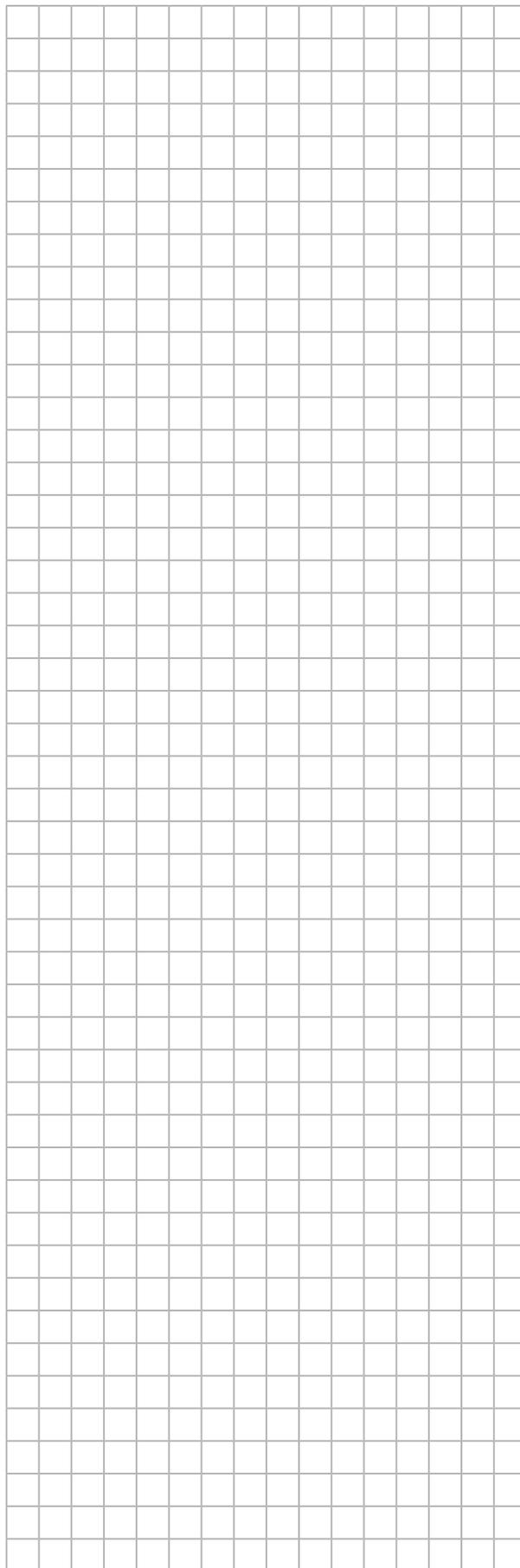
Num dado instante, ele passa pelo ponto **A**, a 10 cm do centro da curvatura **C** do espelho, no sentido de aproximar-se de **V**. Determine:

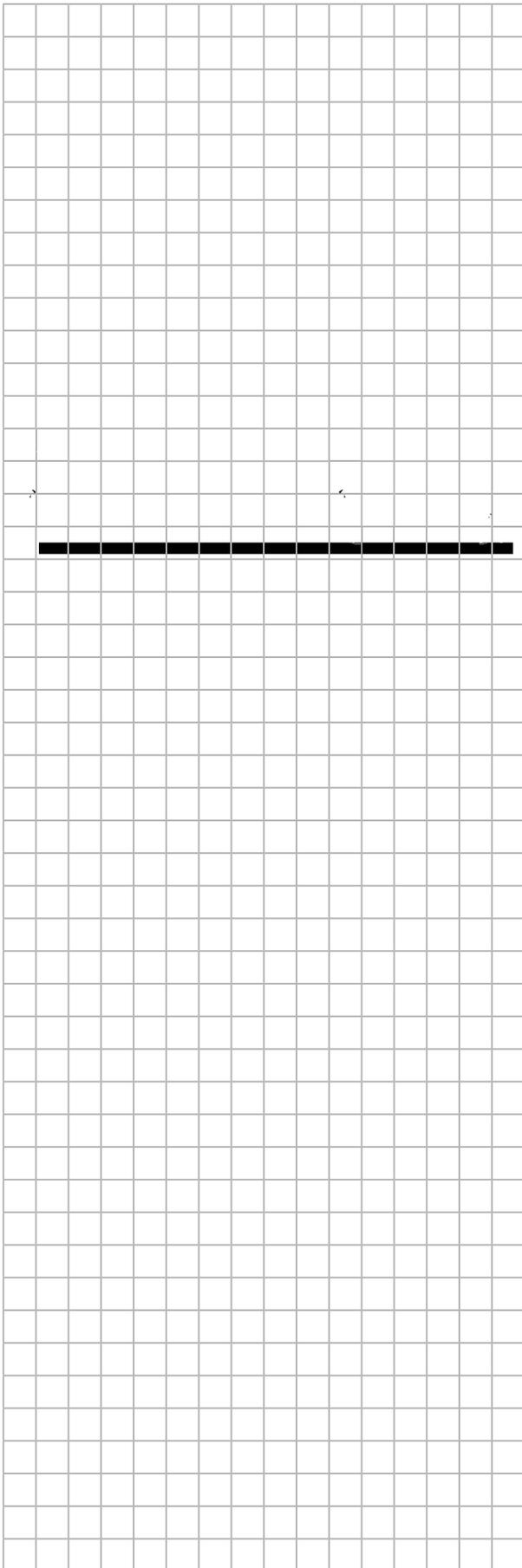
- a) a posição da imagem, em relação ao vértice do espelho, quando o objeto passa pelo ponto **A**;
- b) o módulo da velocidade escalar média da imagem durante o trânsito do objeto ao longo do trecho **AC**.

132. (UEA-AM)

Ao parar na entrada de um supermercado uma criança vê um espelho esférico a 6 m de si, preso em uma parede.

Olhando para esse espelho, vê sua própria imagem direita e menor do que ela própria. Considere-



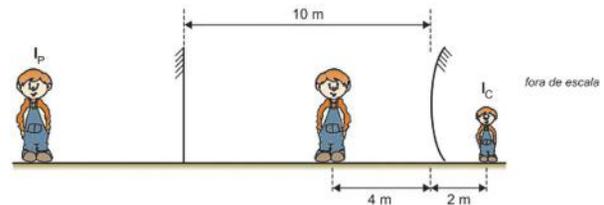


rando que a altura da criança seja onze vezes a altura da imagem que ela vê de si mesma, é correto afirmar que o espelho visto pela criança é

- a) convexo e sua distância focal é $-0,6$ m.
- b) convexo e sua distância focal é $-1,2$ m.
- c) convexo e sua distância focal é $-0,3$ m.
- d) côncavo e sua distância focal é $0,6$ m.
- e) côncavo e sua distância focal é $1,2$ m.

133. (Unifesp)

Em um parque de diversões existem dois grandes espelhos dispostos verticalmente, um de frente para o outro, a 10 m de distância um do outro. Um deles é plano, o outro é esférico convexo. Uma criança se posiciona, em repouso, a 4 m do espelho esférico e vê as duas primeiras imagens que esses espelhos formam dela: I_p , formada pelo espelho plano, e I_c , formada pelo espelho esférico, conforme representado na figura.



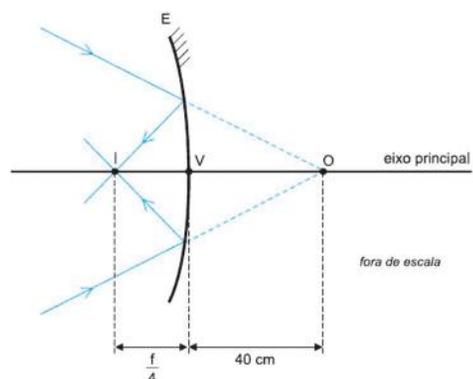
Reprodução/Unifesp, 2018

Calcule:

- a) a distância, em metros, entre I_p e I_c .
- b) a que distância do espelho esférico, em metros, a criança deveria se posicionar para que sua imagem I_c tivesse um terço de sua altura.

134. (Famema-SP)

Na figura, **O** é um ponto objeto virtual, vértice de um pincel de luz cônico convergente que incide sobre um espelho esférico côncavo **E** de distância focal **f**. Depois de refletidos no espelho, os raios desse pincel convergem para o ponto **I** sobre o eixo principal do espelho, a uma distância $\frac{f}{4}$ de seu vértice.

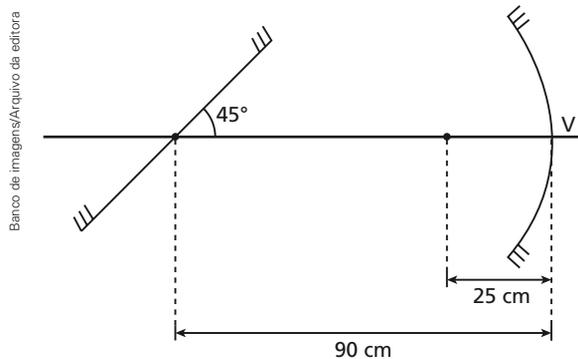


Reprodução/famema, 2017

Considerando válidas as condições de nitidez de Gauss, é correto afirmar que a distância focal desse espelho é igual a

- a) 150 cm.
- b) 160 cm.
- c) 120 cm.
- d) 180 cm.
- e) 200 cm.

135. Dois espelhos são colocados frente a frente. Um é esférico côncavo, de 40 cm de raio, e o outro é plano, distante 90 cm do vértice V do espelho esférico côncavo e inclinado em 45° em relação ao seu eixo principal, como mostra a figura abaixo:



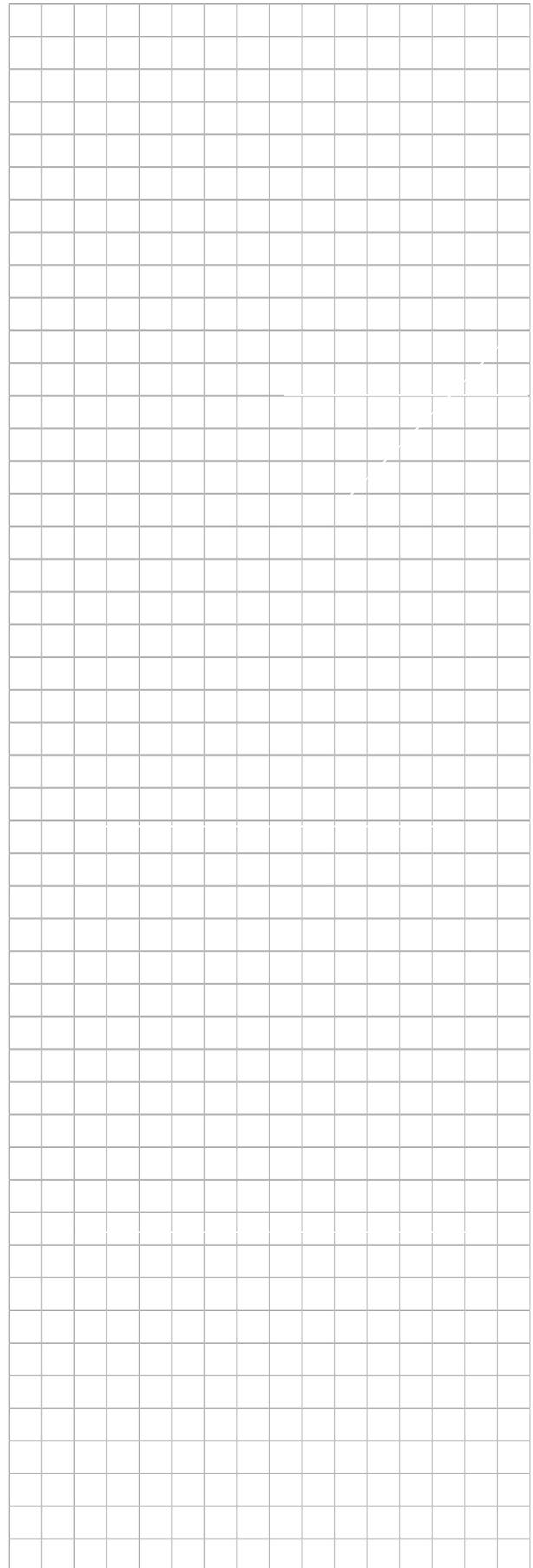
Uma fonte luminosa pontual é colocada entre eles, sobre o eixo principal, a 25 cm do vértice V do espelho esférico côncavo, que vai operar de acordo com as condições de estigmatismo de Gauss. Considere os raios luminosos que, emitidos pela fonte, refletem-se primeiro no espelho côncavo e, a seguir, no espelho plano. A imagem obtida nessa dupla reflexão forma-se a uma distância do eixo principal igual a:

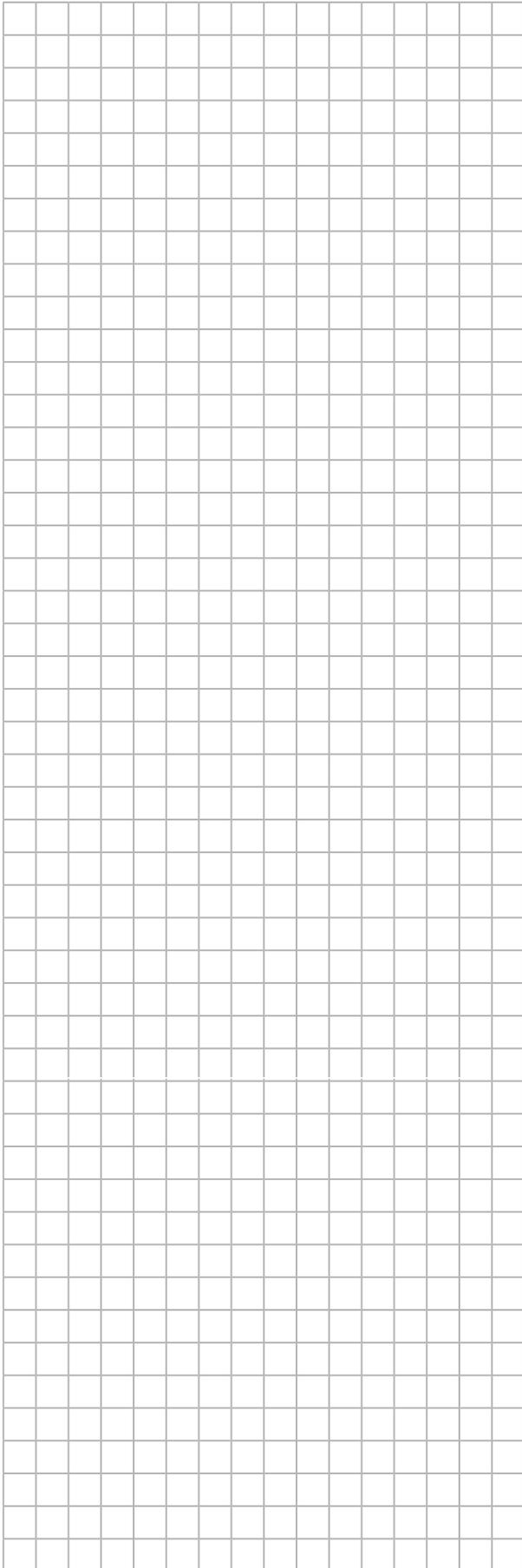
- a) 10 cm
- b) 20 cm
- c) 25 cm
- d) 40 cm
- e) 50 cm

136. (UFTM-MG)

Um espelho esférico está posicionado de tal forma que seu eixo principal se encontra em posição horizontal. Diante do espelho, de distância focal 1 m, um pequeno lápis de comprimento 5 cm é posicionado verticalmente sobre o eixo principal do espelho, conjugando uma imagem de tamanho quatro vezes maior. Suponha que o espelho seja estigmático.

- a) Diante de qual tipo de espelho, côncavo ou convexo, o lápis foi posicionado?
- b) Determine as possíveis posições em que ocorrerá a imagem do lápis, tal qual descrita, relativamente ao vértice do espelho.





137.(Udesc)

Consultando o manual de um automóvel, na seção de retrovisores laterais, você se depara com a seguinte afirmação: “os espelhos dos retrovisores laterais são convexos a fim de ampliar o ângulo de visão. Assim, os objetos observados nos espelhos retrovisores estão, na realidade, mais próximos do que parecem”. Suponha que você esteja dirigindo e observa dois carros alinhados atrás do seu; o primeiro (carro 1) a uma distância de 5,0 m do espelho retrovisor lateral do motorista, e o segundo (carro 2) a uma distância de 10,0 m do mesmo espelho retrovisor. Considerando-se o retrovisor lateral como um espelho esférico convexo de raio de curvatura igual a 5,0 m, e que os carros **1** e **2** possuem a mesma altura real, a razão entre as alturas das imagens do carro **1** (y_1') e do carro **2** (y_2'), formadas no espelho retrovisor lateral do carro, é:

a) $\frac{y_1'}{y_2'} = 1$

b) $\frac{y_1'}{y_2'} = \frac{2}{3}$

c) $\frac{y_1'}{y_2'} = \frac{3}{2}$

d) $\frac{y_1'}{y_2'} = 3$

e) $\frac{y_1'}{y_2'} = \frac{5}{3}$

138.(ITA-SP)

Dois espelhos esféricos interdistantes de 50 cm, um côncavo, E_1 , e outro convexo, E_2 , são dispostos coaxialmente tendo a mesma distância focal de 16 cm. Uma vela é colocada diante dos espelhos perpendicularmente ao eixo principal, de modo que suas primeiras imagens conjugadas por E_1 e E_2 tenham o mesmo tamanho. Assinale a opção com as respectivas distâncias, em cm, da vela aos espelhos E_1 e E_2 .

a) 25 e 25

b) 41 e 9

c) 34 e 16

d) 35 e 15

e) 40 e 10

139. (IME-RJ)

Um banhista faz o lançamento horizontal de um objeto na velocidade igual a $5\sqrt{3}$ m/s em direção a uma piscina. Após tocar a superfície da água, o objeto submerge até o fundo da piscina em velocidade horizontal desprezível. Em seguida, o banhista observa esse objeto em um ângulo de 30° em relação ao horizonte. Admitindo-se que a altura de observação do banhista e do lançamento do objeto são iguais a 1,80 m em relação ao nível da água da piscina, a profundidade da piscina, em metros, é

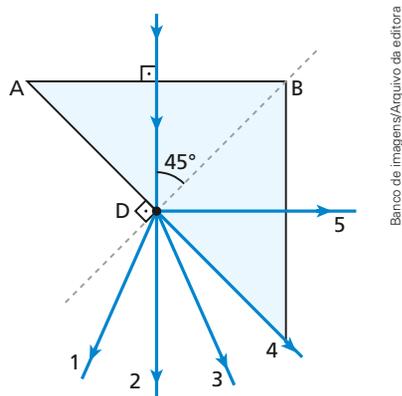
Dados:

- índice de refração do ar: $n_{\text{ar}} = 1$;
- índice de refração da água: $n_{\text{água}} = \frac{5\sqrt{3}}{6}$.

- 2
- 1,6
- $1,6\sqrt{3}$
- $2\sqrt{3}$
- $1\sqrt{3}$

140. (Vunesp)

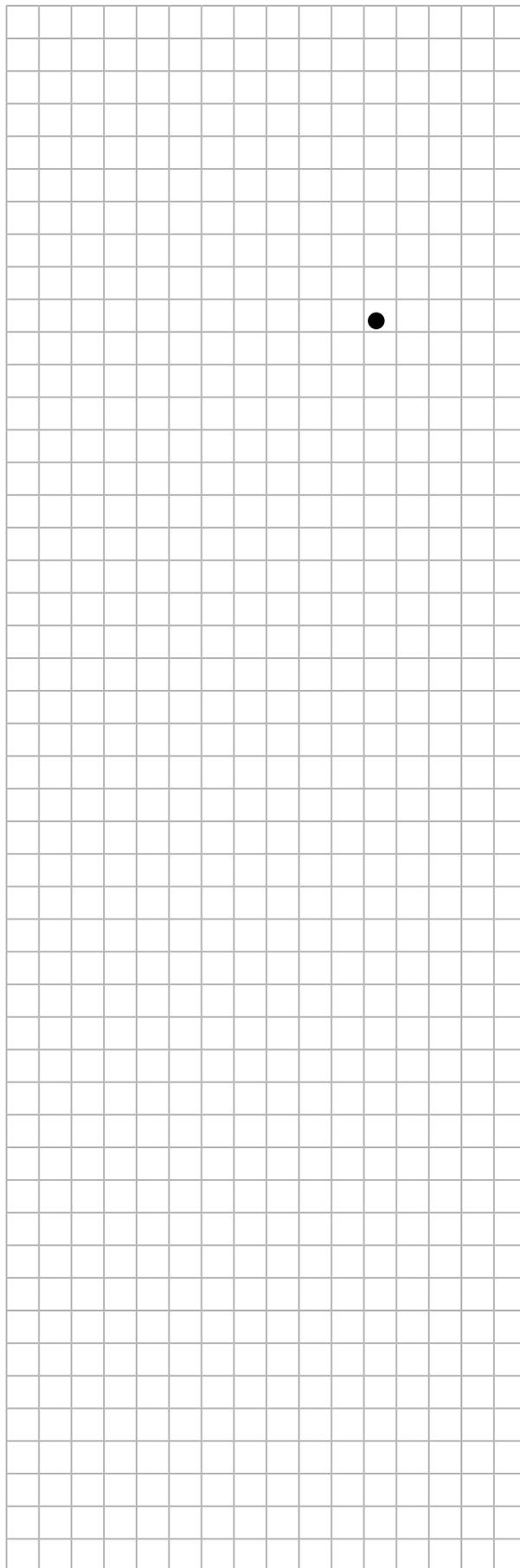
O triângulo ABC representa a seção transversal de um prisma triangular transparente, de índice de refração absoluto igual a 2, imerso no ar. Um raio de luz monocromático incide nesse prisma perpendicularmente à face AB e passa a propagar-se por dentro dele até o ponto D, conforme a figura.

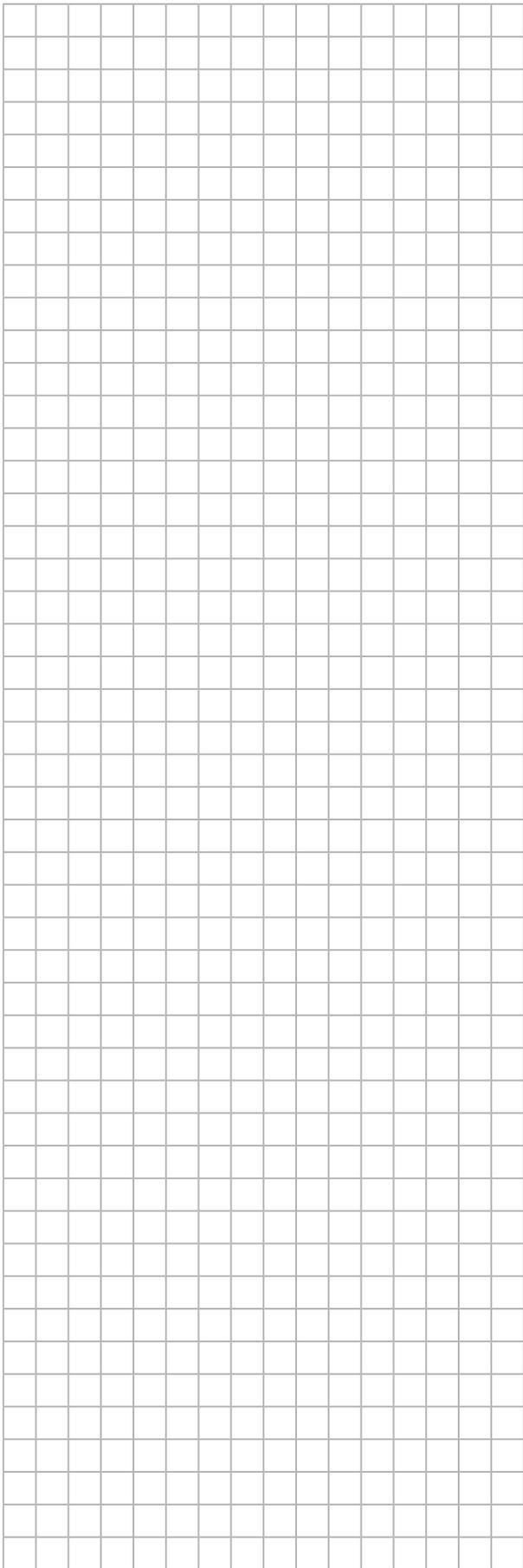


Banco de imagens/Arquivo da editora

Sabendo que o índice de refração absoluto do ar é $n_{\text{ar}} = 1$, esse raio de luz emerge do prisma pela trajetória

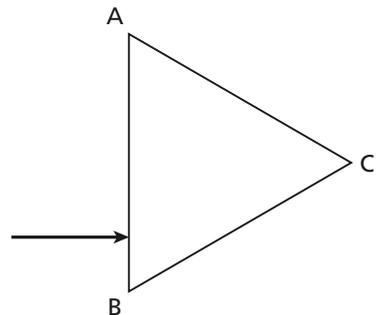
- 1.
- 2.
- 3.
- 4.
- 5.





141. (OBF)

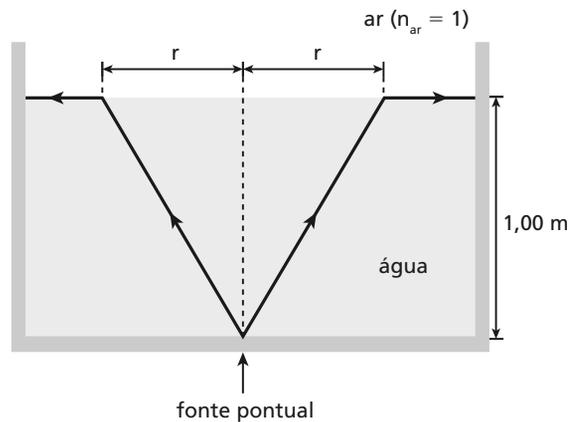
Considere um raio de luz monocromático incidindo perpendicularmente em uma das faces (AB) de um prisma de seção reta triangular, cujos lados são do mesmo tamanho. Suponha que o prisma está mergulhado no ar e possui índice de refração absoluto n . Obtenha a condição de n para que haja emergência do raio de luz apenas pela face AC. Considere que o índice de refração absoluto do ar é igual a 1.



Banco de imagens/Arquivo da editora

142. (IJSO)

Uma fonte pontual de luz é colocada no fundo de um tanque de água de 1,00 m de profundidade, de modo que a fonte emite luz para cima e em todas as direções. Um círculo luminoso é formado pelos raios que são retratados; os raios fora dessa região são refletidos para o interior do tanque.



Banco de imagens/Arquivo da editora

Dado que o índice de refração da água é 1,33, o raio r do círculo na superfície da água é aproximadamente:

- a) 1,33 m
- b) 1,00 m
- c) 1,14 m
- d) 0,75 m

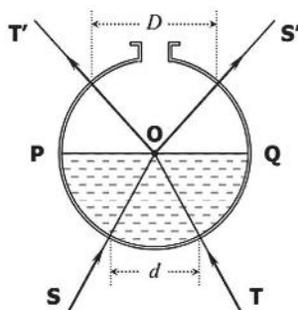
143. (EFOMM-RJ)

Uma pequena lâmpada está colocada no fundo de uma piscina cheia de um determinado líquido com profundidade igual a 2 m. Apesar de a lâmpada emitir luz em todas as direções, um observador situado fora da piscina verifica que a superfície do líquido não está toda iluminada, mas apenas uma região circular. Sabe-se que o índice de refração desse líquido é igual a 2. O raio da região circular iluminada da superfície da piscina é então

- a) 0,75 m c) 1,03 m e) 1,15 m
 b) 1,0 m d) 1,13 m

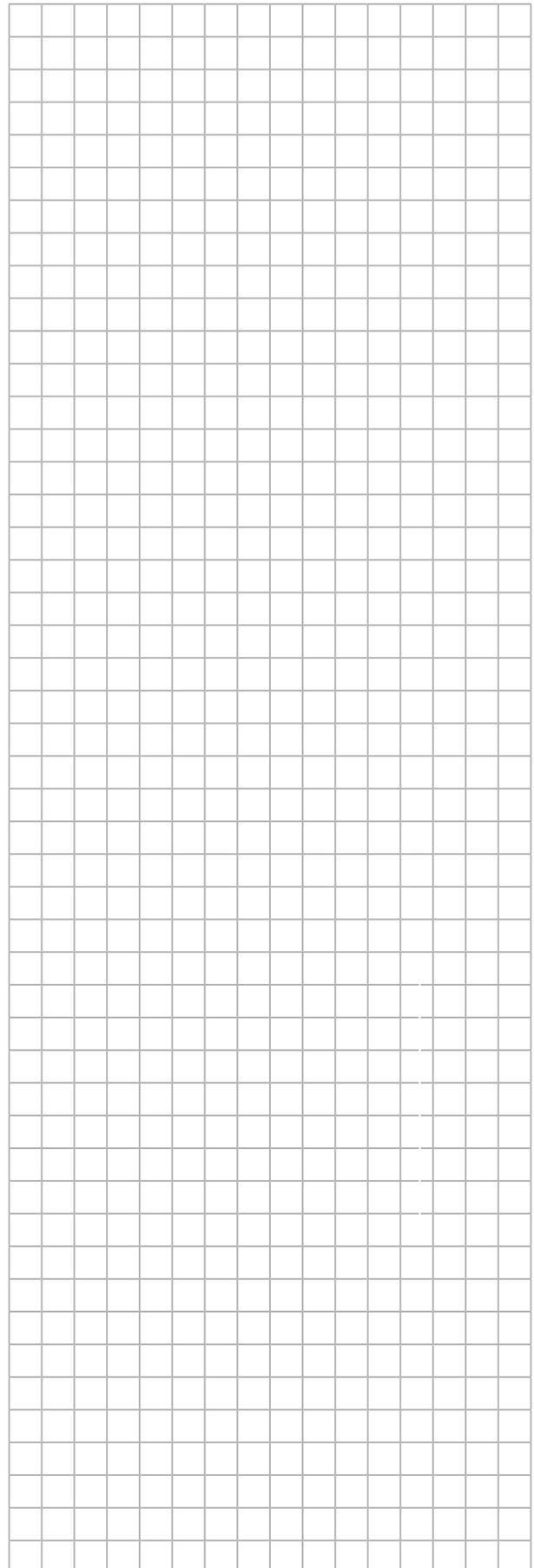
144. (Ufes)

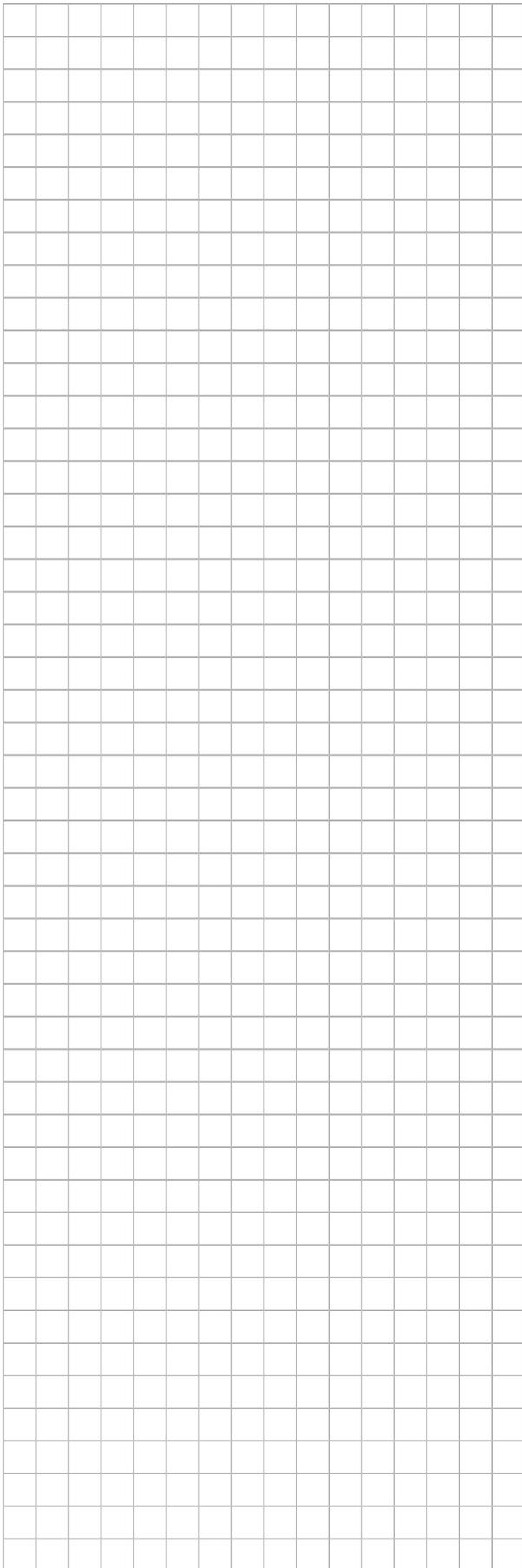
Enche-se uma fina esfera, feita de vidro transparente, com um líquido, até completar-se exatamente a metade de seu volume. O resto do volume da esfera contém ar (índice de refração $n_{\text{ar}} = 1$). Uma fonte de luz gera um cone de finos raios luminosos que interceptam a esfera, formando uma circunferência de diâmetro d . Os raios emergem da esfera, formando novo cone que intercepta a esfera em outra circunferência de diâmetro D . Na figura, mostram-se dois raios incidentes SO e TO , nos limites da interseção do cone com o plano da figura, bem como os correspondentes raios emergentes OS' e OT' . O ponto O é o centro da esfera. Despreze qualquer efeito de refração na passagem dos raios de luz através do vidro da esfera.



Reprodução/Ufes, 2015

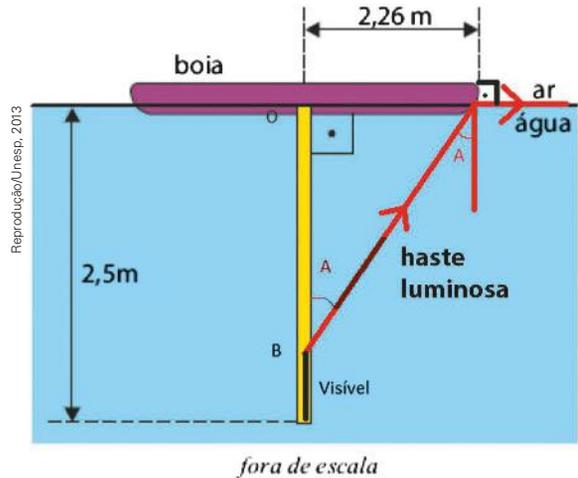
- a) Explique por que os feixes incidentes, tais como SO ou TO , não sofrem desvio no trajeto do ar para o líquido.
 b) Se $d = 20$ cm e $D = 28$ cm, determine o índice de refração n_{liq} do líquido em relação ao ar.
 c) À medida que se aumenta o ângulo do cone de raios incidentes, verifica-se que o ângulo do cone emergente tende a 90° , ou seja, OS' tende a OQ e OT' tende a OP . Sabendo que esse limite ocorre quando d se torna $d_{\text{lim}} = 30$ cm, determine o raio da esfera.





145. (Unesp-SP)

Uma haste luminosa de 2,5 m de comprimento está presa verticalmente a uma boia opaca circular de 2,26 m de raio, que flutua nas águas paradas e transparentes de uma piscina, como mostra a figura. Devido à presença da boia e ao fenômeno da reflexão total da luz, apenas uma parte da haste pode ser vista por observadores que estejam fora da água.



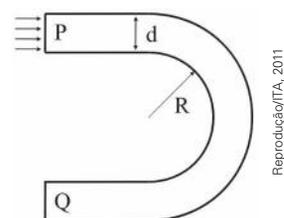
Considere que o índice de refração do ar seja 1,0, o da água da piscina $\frac{4}{3}$, $\sin 48,6^\circ = 0,75$ e $\text{tg } 48,6^\circ = 1,13$.

Um observador que esteja fora da água poderá ver, no máximo, uma porcentagem do comprimento da haste igual a

- a) 70%.
- b) 60%.
- c) 50%.
- d) 20%.
- e) 40%.

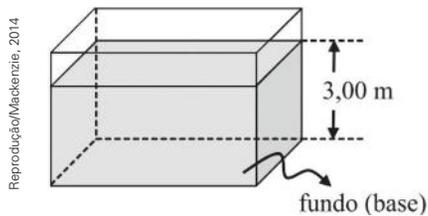
146. (ITA-SP)

Um tarugo de vidro de índice de refração $n = \frac{3}{2}$ e seção transversal retangular é moldado na forma de uma ferradura, como ilustra a figura. Um feixe de luz incide perpendicularmente sobre a superfície plana P. Determine o valor mínimo da razão $\frac{R}{d}$ para o qual toda a luz que penetra pela superfície P emerge do vidro pela superfície Q.



147. (UPM-SP)

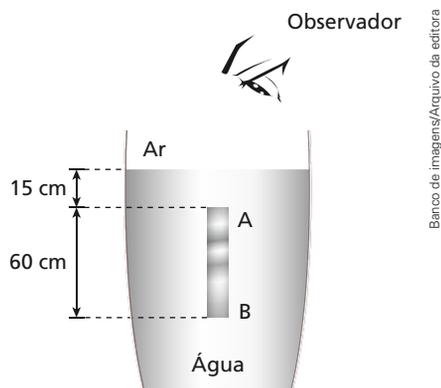
Certa piscina contém água, de índice de refração absoluto igual a $\frac{4}{3}$, e sua base se encontra 3,00 m abaixo da superfície livre. Quando uma pessoa, na beira da piscina, olha perpendicularmente para seu fundo (base), terá a impressão de vê-lo



Dado: Índice de refração absoluto do ar $n = 1$

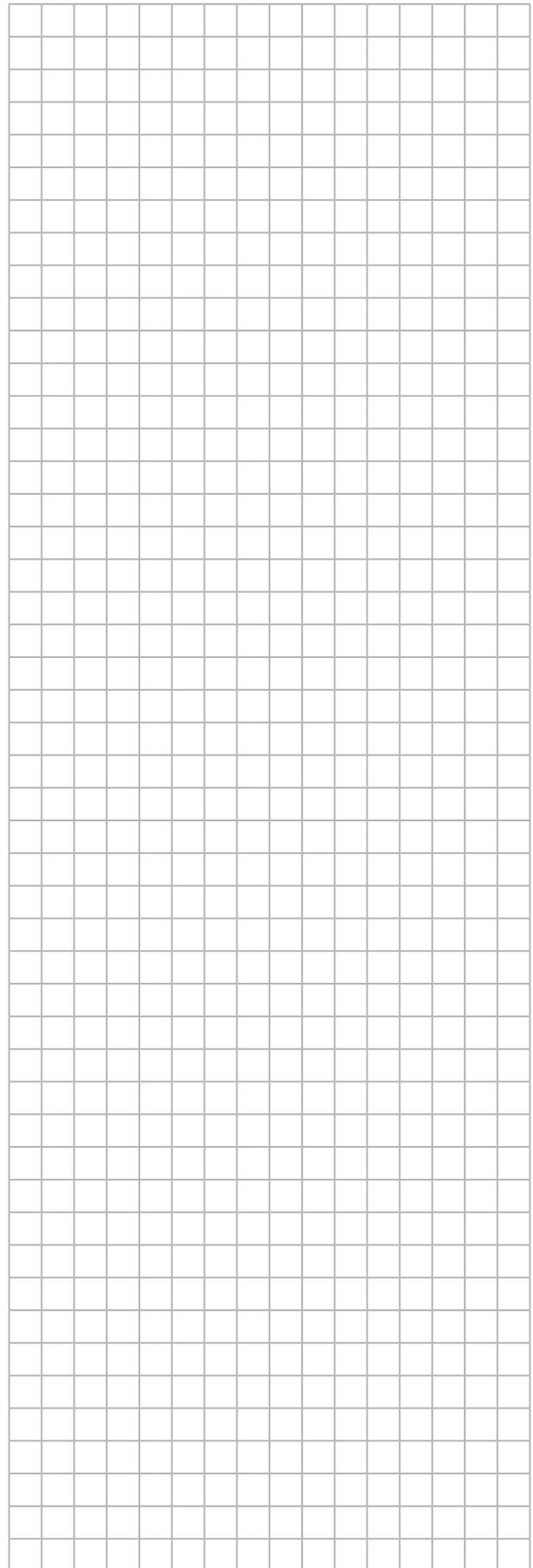
- a) 2,25 m mais próximo, em relação à profundidade real.
- b) 1,33 m mais próximo, em relação à profundidade real.
- c) 0,75 m mais próximo, em relação à profundidade real.
- d) 1,33 m mais distante, em relação à profundidade real.
- e) 0,75 m mais distante, em relação à profundidade real.

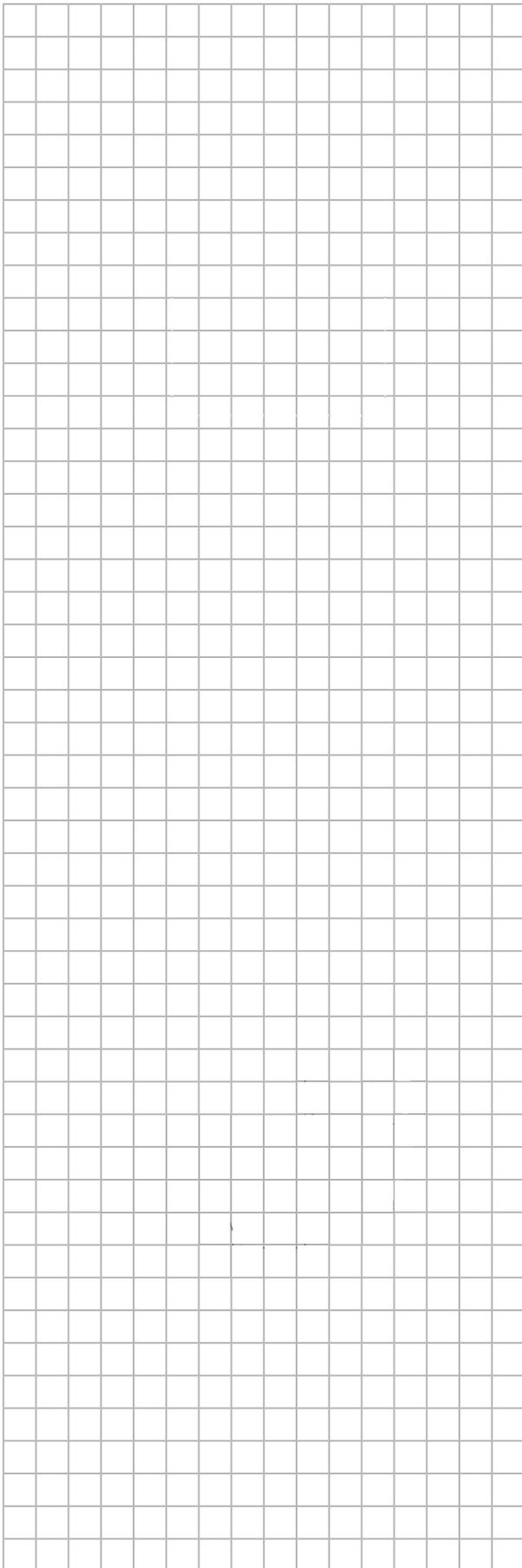
148. Uma barra **AB** de 60 cm é colocada verticalmente no interior de uma cuba contendo água de índice de refração igual a $\frac{4}{3}$, ficando com a extremidade A a 15 cm da superfície, conforme a figura abaixo. (Considere o índice de refração do ar igual a 1.)



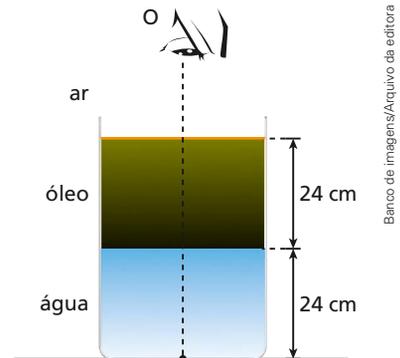
Nessas condições, o comprimento da barra **AB**, vista por um observador posicionado conforme a figura é:

- a) 11,25 cm
- b) 56,25 cm
- c) 45 cm
- d) 75 cm
- e) 48,75 cm





149. Dentro de um recipiente aberto e em repouso acham-se superpostas duas camadas líquidas, de óleo e de água (líquidos imiscíveis), com alturas respectivamente iguais a 24 cm. Um objeto luminoso P de dimensões desprezíveis é colocado no centro da base do recipiente, sendo visado por um observador O , cujo globo ocular está praticamente na vertical que contém o objeto, conforme indica o esquema abaixo.

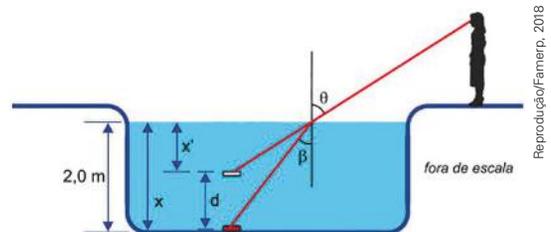


Considerando-se os índices de refração absolutos da água, do óleo e do ar respectivamente iguais a $\frac{4}{3}$, $\frac{3}{2}$ e 1, a profundidade aparente em que O visualiza P é:

- a) 52 cm;
- b) 48 cm;
- c) 34 cm;
- d) 24 cm;
- e) 15 cm.

150. (Famerp-SP)

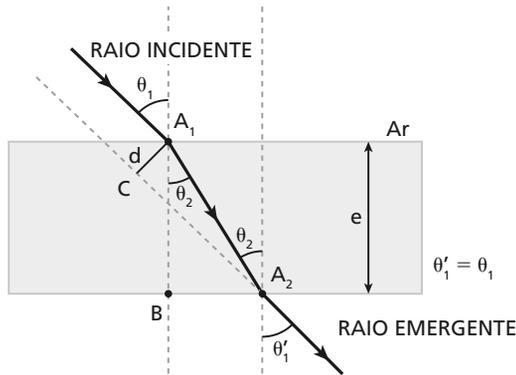
Uma pessoa observa uma moeda no fundo de uma piscina que contém água até a altura de 2,0 m. Devido à refração, a pessoa vê a imagem da moeda acima da sua posição real, como ilustra a figura. Considere os índices de refração absolutos do ar e da água iguais a 1,0 e $\frac{4}{3}$, respectivamente.



- a) Considerando $\sin \theta = 0,80$, qual o valor do seno do ângulo β ?
- b) Determine a quantos centímetros acima da posição real a pessoa vê a imagem da moeda.

151. (Urca-CE)

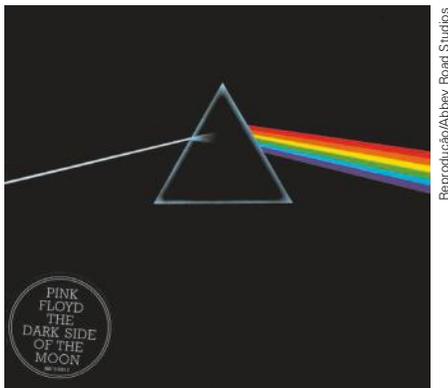
Um raio luminoso monocromático incide no ponto A_1 , sob um ângulo θ_1 , sobre uma lâmina de vidro de faces paralelas de espessura e e índice de refração n . Sabendo-se que o raio emergente tem a mesma direção que o raio incidente, determine a distância d , indicada na figura, entre os raios incidente e emergente em função de e , θ_1 e n . Adote o índice de refração do ar igual a 1.



Banco de imagens/Arquivo da editora

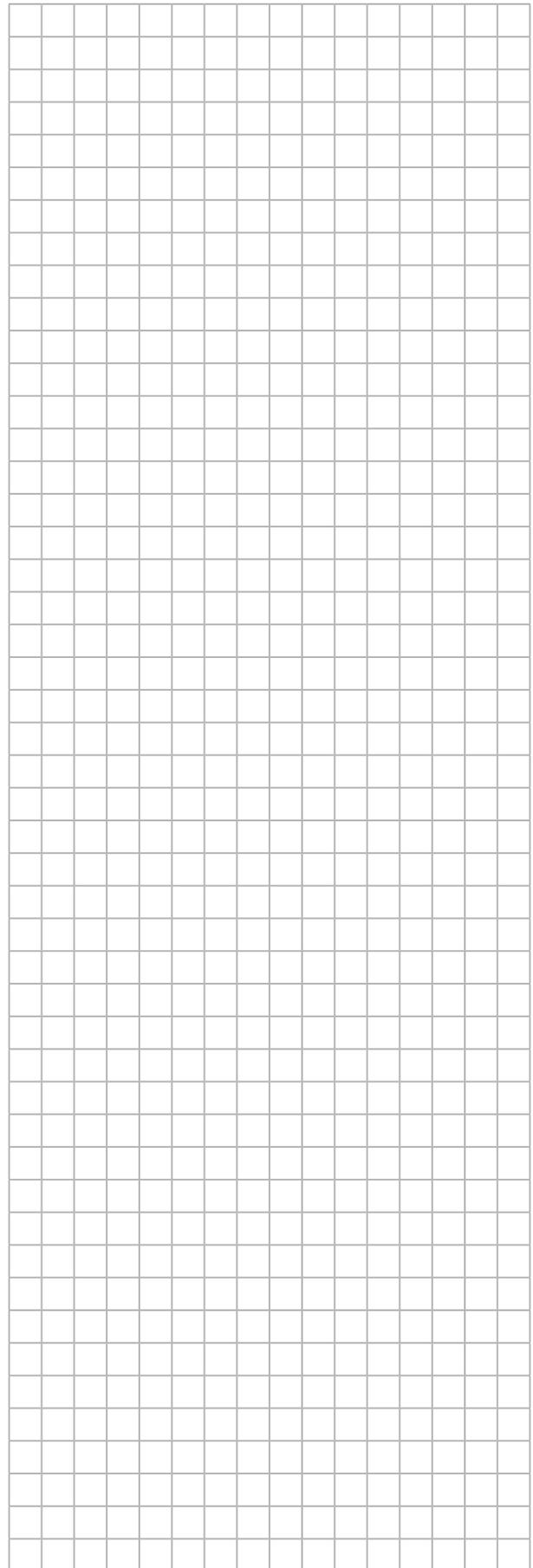
152. (OBF)

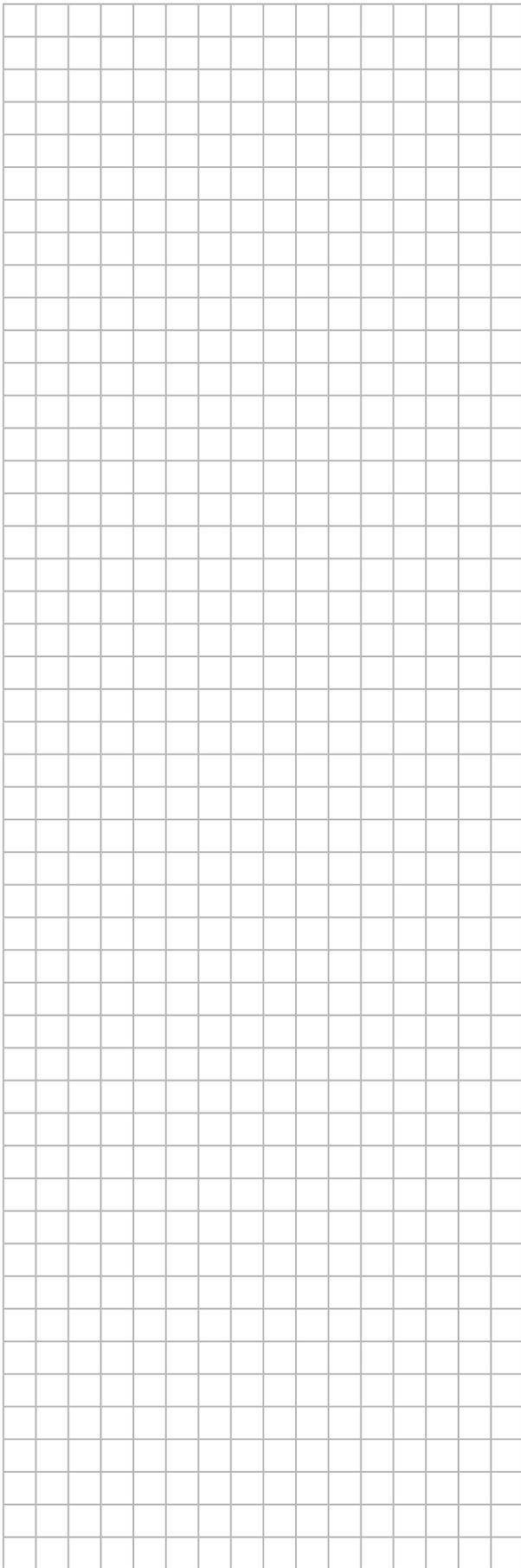
Em 1973, o grupo inglês Pink Floyd lançava o álbum "The dark side of the Moon". A capa desse emblemático disco de rock progressivo mostrava o fenômeno da dispersão da luz branca ao incidir em um prisma.



Reprodução/Abbey Road Studios

- Explique esse fenômeno em termos das velocidades de propagação das diversas cores componentes da luz branca.
- Considerando-se que a luz branca incide formando com a face esquerda do prisma um ângulo de 45° e tendo o prisma um ângulo de abertura de 60° , determine o ângulo de saída da cor vermelha sabendo-se que o índice de refração absoluto do prisma para essa cor é de 1,4 e que o mesmo está imerso no ar ($n_{ar} = 1,0$).





153. (Famema-SP)

Uma pessoa observa uma letra **F** impressa em uma folha de papel utilizando uma lente convergente como lupa, a qual é mantida em repouso, paralela à folha e a 10 cm dela. Nessa situação, as dimensões da imagem são três vezes maiores do que as da letra impressa, conforme mostra a figura.



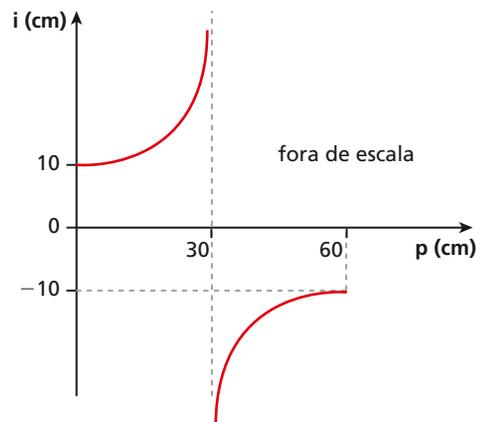
Reprodução/Famema, 2016

Considerando válidas as condições de nitidez de Gauss, a distância focal da lente utilizada pela pessoa, em centímetros, é igual a

- a) 7,50.
- b) 15,0.
- c) 22,5.
- d) 30,0.
- e) 37,5.

154. (UFTM-MG)

Um objeto real linear é colocado diante de uma lente esférica delgada convergente, perpendicularmente a seu eixo principal. À medida que o objeto é movido ao longo desse eixo, a altura (i) da imagem conjugada pela lente varia, em função da distância do objeto a ela (p), conforme o gráfico a seguir.



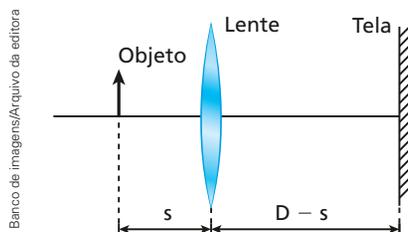
Banco de Imagens/Arquivo da editora

Se o objeto for colocado a 20 cm da lente, a altura da imagem conjugada por ela, em cm, e o módulo da distância da imagem à lente, também em cm, serão respectivamente iguais a

- a) 30 e 30.
- b) 15 e 25.
- c) 30 e 60.
- d) 20 e 30.
- e) 20 e 60.

155. (UFPE)

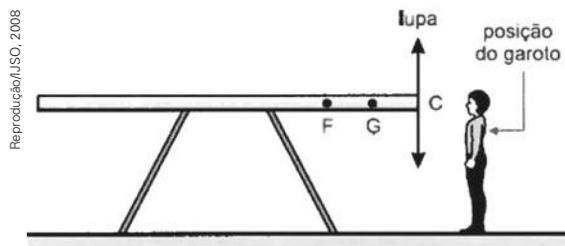
Um objeto luminoso e uma tela de projeção estão separados pela distância $D = 80$ cm. Existem duas posições em que uma lente convergente de distância focal $f = 15$ cm, colocada entre o objeto e a tela, produz uma imagem real na tela. Calcule a distância, em cm, entre estas duas posições.



156. (IJSO)

Um garoto, usando uma lupa (lente convergente), está observando o salto vertical de um grilo **G**. O grilo está posicionado sobre o eixo principal da lente, no ponto médio entre o foco objeto **F** e o centro óptico **C** da lente. O grilo **G** salta verticalmente com velocidade inicial de módulo V_0 . A aceleração da gravidade tem módulo g e o efeito do ar é desprezível.

O grilo inicia o salto no instante $t_0 = 0$ e atinge o ponto mais alto de sua trajetória no instante $t_1 = T$.



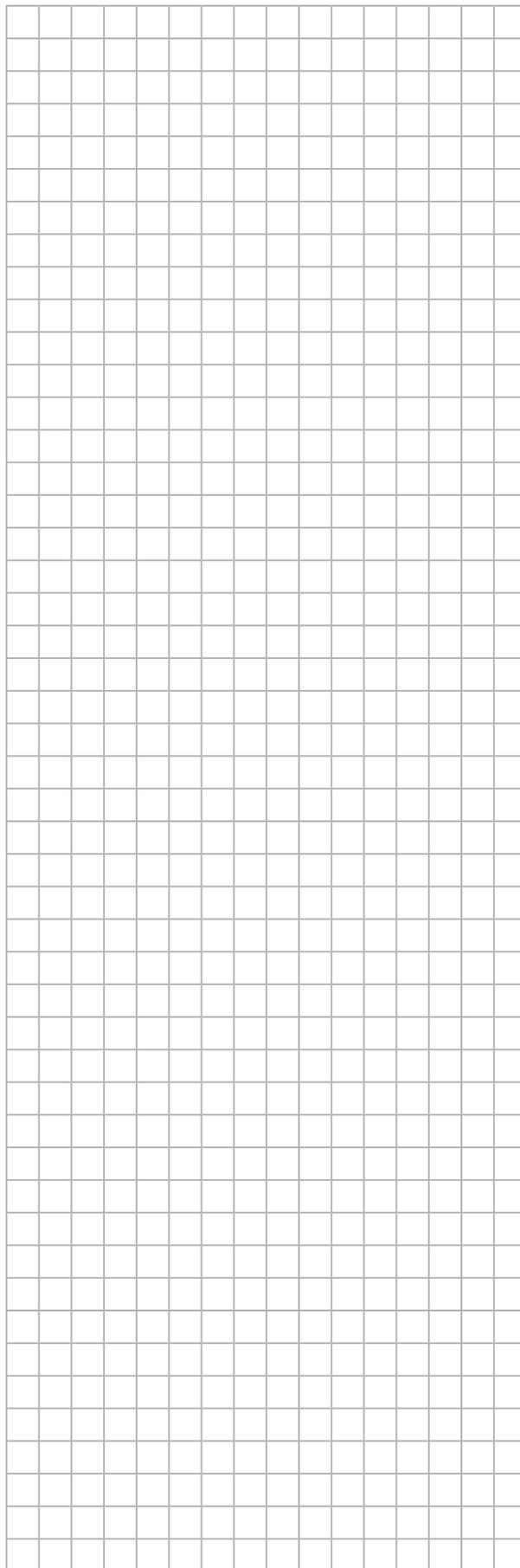
Admita serem válidas as condições de aproximação para o uso das equações de Gauss.

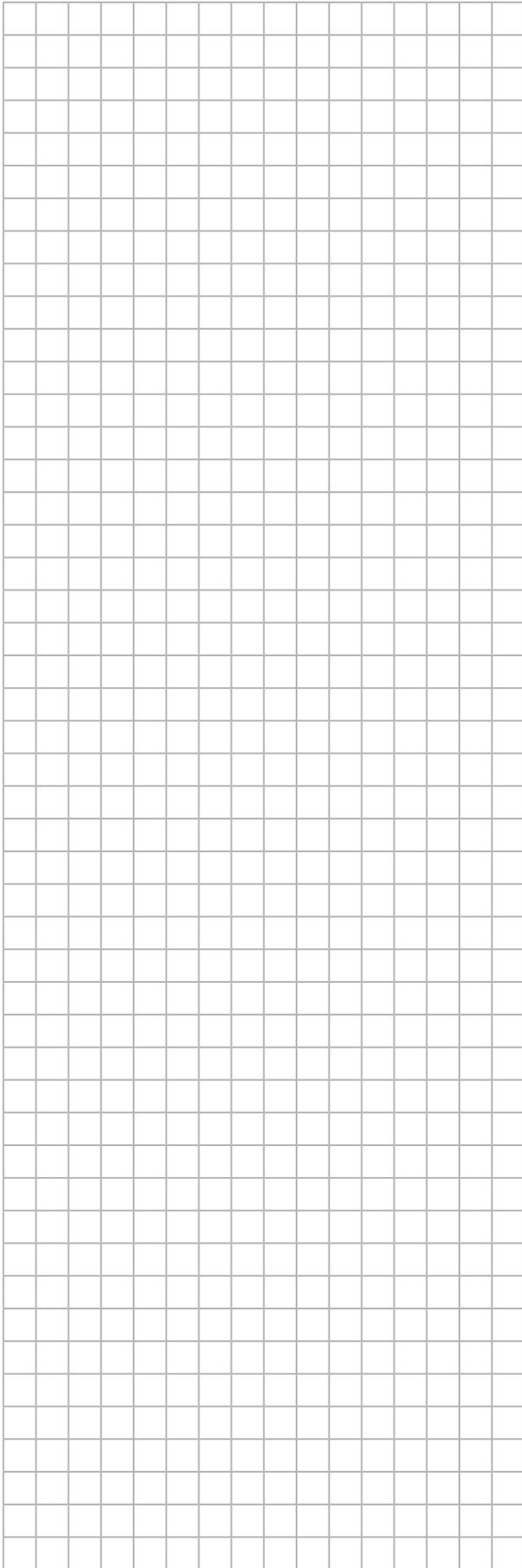
As proposições a seguir se referem ao movimento da imagem **G'** que a lente fornece para o grilo **G**.

- I. No instante $t_0 = 0$ a imagem do grilo **G'** tem velocidade com módulo $2V_0$.
- II. No instante $t_1 = T$ a imagem do grilo **G'** tem aceleração com módulo $2g$.
- III. A altura máxima atingida pela imagem do grilo **G'** é o dobro da altura máxima atingida pelo grilo.

Está correto o que se afirma

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



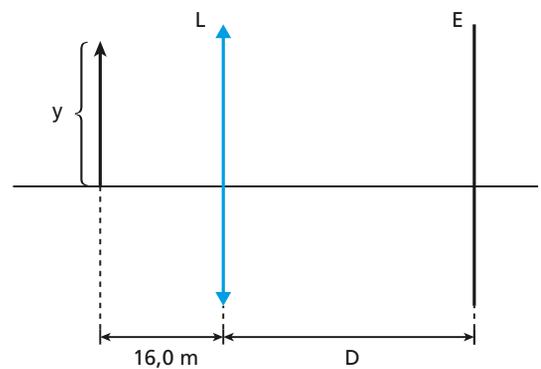


157.(UFPR)

Um objeto movimenta-se com velocidade constante ao longo do eixo óptico de uma lente delgada positiva de distância focal $f = 10$ cm. Num intervalo de 1 s, o objeto se aproxima da lente, indo da posição 30 cm para 20 cm em relação ao centro óptico da lente. V_0 e V_i são as velocidades médias do objeto e da imagem, respectivamente, medidas em relação ao centro óptico da lente. Desprezando-se o tempo de propagação dos raios de luz, é correto concluir que o módulo da razão $\frac{V_0}{V_i}$ é:

- a) $\frac{2}{3}$.
- b) $\frac{3}{2}$.
- c) 1.
- d) 3.
- e) 2.

158. Na figura, está representado um objeto luminoso de altura y e posicionado a 16,0 cm de uma lente convergente **L**, cuja distância focal é de 8,0 cm. A lente está a uma distância D de um espelho esférico gaussiano **E** de raio de curvatura 36,0 cm e eixo principal coincidente com o eixo óptico da lente.



Banco de imagens/Arquivo da editora

Para que a imagem produzida pelo espelho tenha altura igual a $2y$ e orientação invertida em relação ao objeto, o tipo de espelho esférico utilizado e o valor de D são, respectivamente:

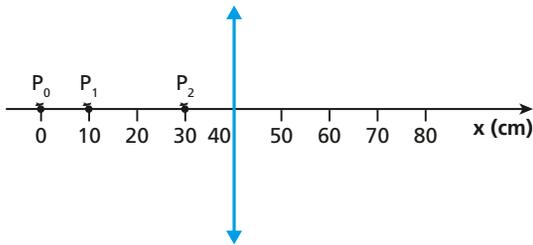
- a) côncavo e $D = 16,0$ cm;
- b) côncavo e $D = 25,0$ cm;
- c) côncavo e $D = 43,0$ cm;
- d) convexo e $D = 16,0$ cm;
- e) convexo e $D = 25,0$ cm.

159. (OBF)

De um livro de 30 cm de altura, uma lente convergente plano-convexa de vidro ($n_v = 1,5$), imersa no ar, forma uma imagem real com 10 cm de altura a uma distância de 12 cm da lente.

- Qual o valor, em cm, da distância focal da lente convergente?
- Qual o valor da curvatura da superfície convexa da lente?

160. Um pequeno grilo percorre com velocidade escalar constante, da esquerda para a direita no esquema abaixo, o eixo óptico principal de uma lente biconvexa de vidro (índice de refração absoluto igual a 1,5) imersa no ar (índice de refração absoluto igual a 1,0). Essa lente tem fases simétricas com raios de curvatura respectivamente iguais a 20 cm e vai operar de acordo com as condições de estigmatismo de Gauss.

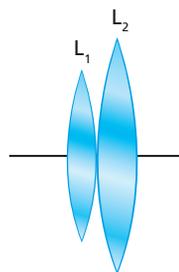


Banco de imagens/Arquivo da editora

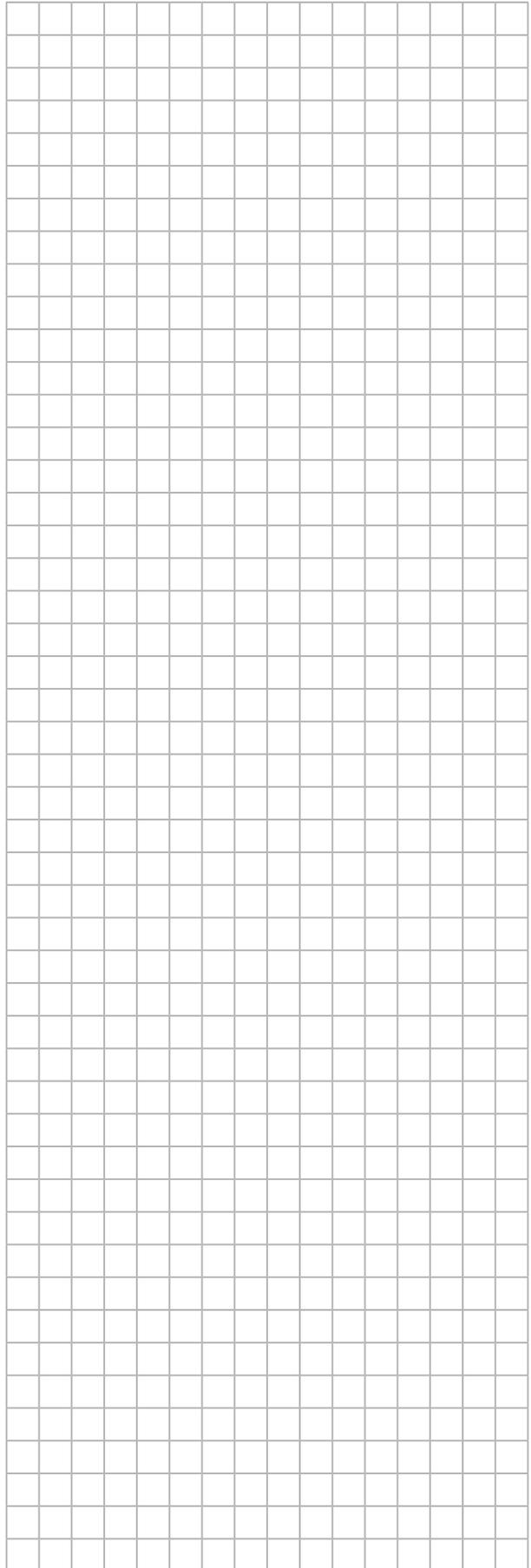
No instante $t_0 = 0$, o grilo passa pelo ponto P_0 (em $x_0 = 0$) e, no instante $t_1 = 2,5$ s, passa pelo ponto P_1 (em $x_1 = 10$ cm). Depois disso, o inseto segue adiante e, atinge o ponto P_2 (em $x_2 = 30$ cm) onde para e realiza um salto vertical. Desprezando-se a resistência do ar e adotando-se para a intensidade de aceleração da gravidade o valor $g = 10 \text{ m/s}^2$, pede-se determinar

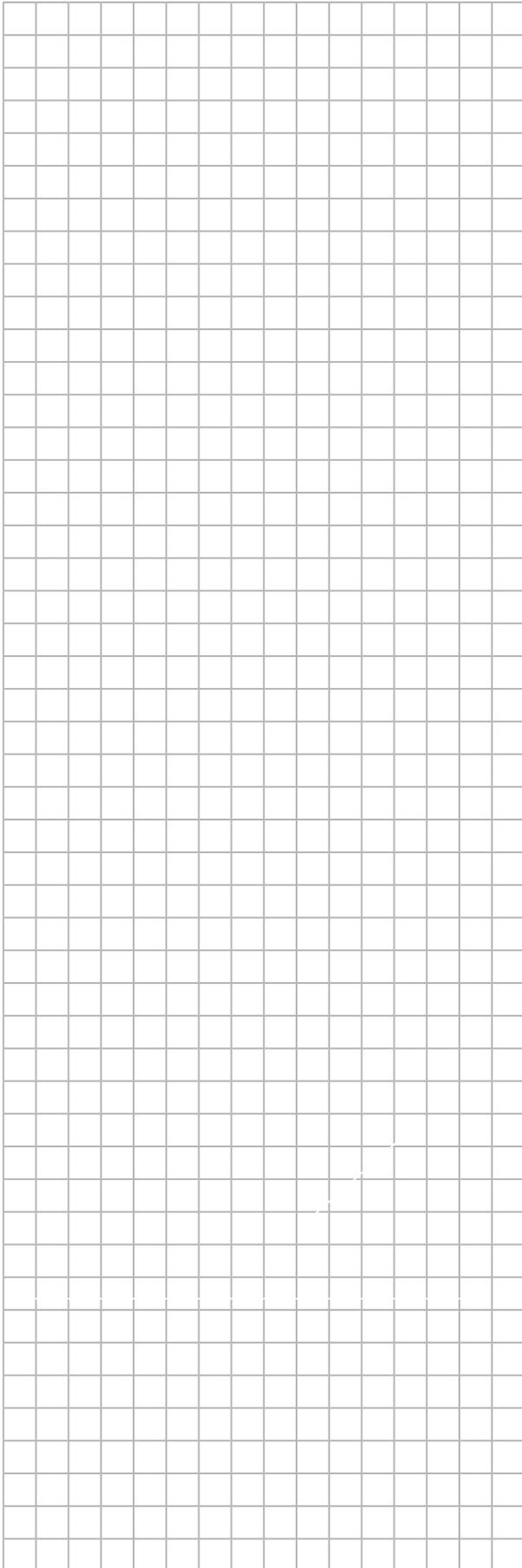
- a distância focal, f , da lente;
- a velocidade escalar média, V_m , da imagem do grilo, dada pela lente, no intervalo de $t_0 = 0$ a $t_1 = 2,5$ s;
- a intensidade da aceleração da imagem do grilo durante seu salto vertical.

161. Duas lentes delgadas biconvexas, L_1 e L_2 , de vidro em operação no ar são justapostas, como representa a figura. Um objeto luminoso é colocado diante da associação, obtendo-se uma imagem com a metade das dimensões lineares do objeto, distante a 54 cm dele.



Banco de imagens/Arquivo da editora





- Sabendo-se que as distâncias focais de L_1 e L_2 valem, respectivamente, 20 cm e 30 cm, determine
- a distância focal da lente equivalente à associação;
 - a distância entre as imagens e as lentes.

162. (Vunesp)

Um médico oftalmologista recomendou a sua paciente míope uma lente esférica com $-2,00$ di. A partir disso,

- estabeleça se a lente prescrita é convergente ou divergente e desenhe três perfis distintos de lentes que poderiam ter a convergência receitada.
- faça um esquema em escala, indicando o eixo principal e os pontos principais da lente, bem como os raios que determinam a posição da imagem de um objeto colocado a 1,50 m do vértice dessa lente, classificando a imagem como real ou virtual, direita ou invertida, maior ou menor.

163. (Unifesp)

Um paciente, que já apresentava problemas de miopia e astigmatismo, retornou ao oftalmologista para o ajuste das lentes de seus óculos. A tabela a seguir retrata a nova receita emitida pelo médico.

Nome: Jorge Frederico de Azeredo

	Grau	Esférico	Cilíndrico	Eixo	D.P.
Para longe	OD	-3,00	-0,75	150°	62,0 mm
	OE	-3,00	-0,75	150°	
Para perto	OD	+1,00	-0,75		68,0 mm
	OE	+1,00	-0,75		

Obs.: Óculos para longe e perto separados. Ao pegar seus óculos, é conveniente trazê-los para conferir.

Próxima consulta: ____ .08.2012.

São Paulo, 30.08.2011.

Carlos Figueiredo

CRM nº: 000 00

- Caracterize a lente indicada para correção de miopia, identificando a vergência, em dioptrias, e a distância focal, em metros.
- Utilizando um modelo simplificado do olho, esboce a formação da imagem para um paciente portador de *miopia* e represente, em outro esquema, a correção do defeito citado, destacando a lente apropriada.

164. Matematicamente, a **amplitude de acomodação**, α , é calculada em dioptrias (di) pela relação abaixo, em que d_p e d_R são as distâncias ao olho, em metros (m), respectivamente, dos pontos próximos e remoto.

$$\alpha = \frac{1}{d_p} - \frac{1}{d_R}$$

Para um olho jovem e normal, d_p vale cerca de 25 cm ou 0,25 m, enquanto d_R tende ao "infinito". No caso desse olho emetrope, a amplitude de acomodação, α_E , é determinada fazendo-se:

$$\alpha_E = \frac{1}{0,25} - \frac{1}{\infty} \text{ (di)}$$

A segunda parcela tende a zero, logo:

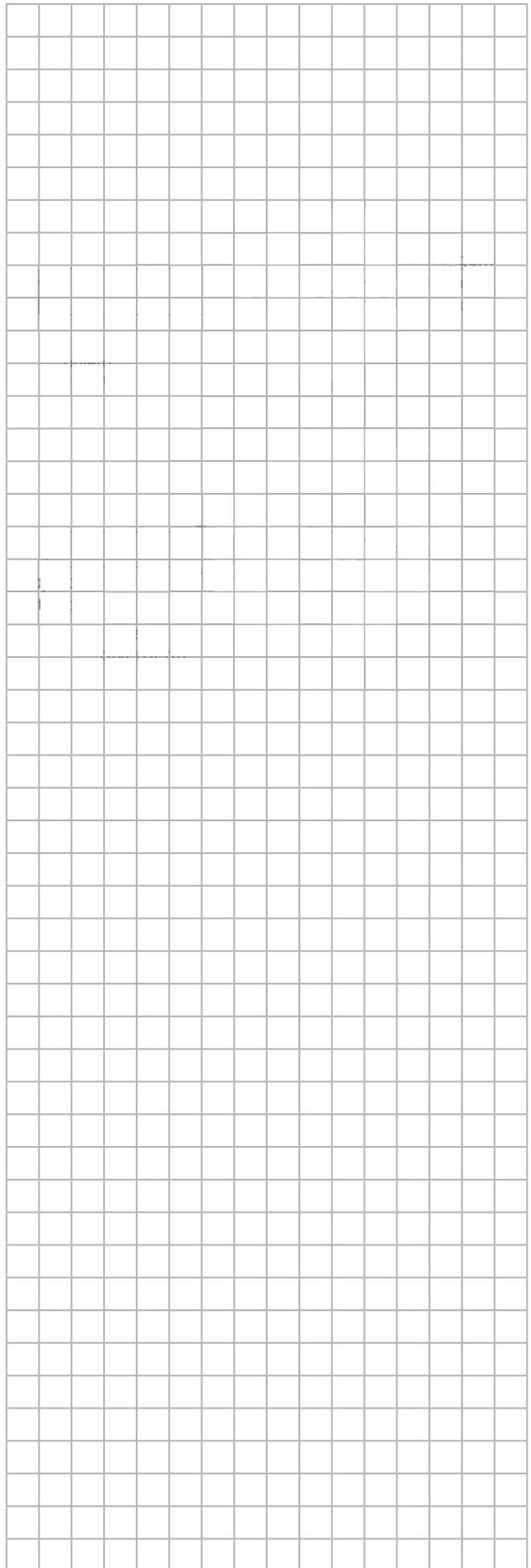
$$\alpha_E = 4,0 \text{ di}$$

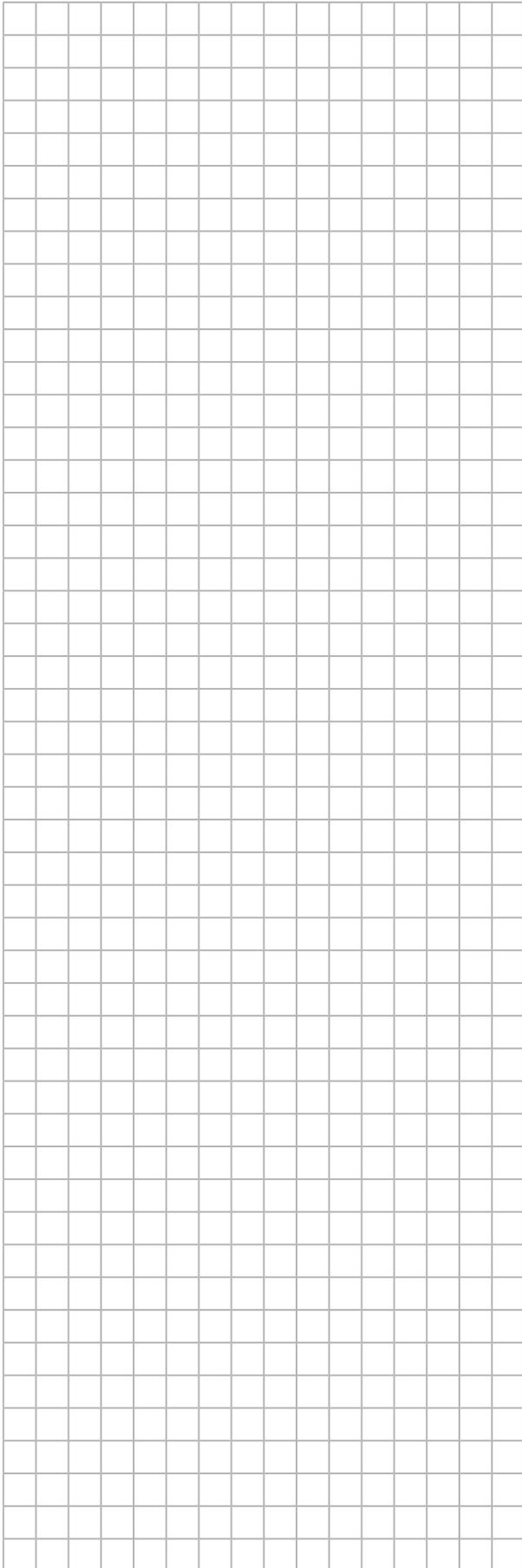
Suponha que um míope tenha os pontos próximo e remoto distantes de seu bulbo ocular 20 cm e 50 cm, respectivamente. Pergunta-se:

- Qual a amplitude de acomodação desse míope?
- Qual a redução percentual de sua amplitude de acomodação tomando-se por base um olho emetrope?

165. Conta-se que durante a Segunda Guerra Mundial militares norte-americanos que se instalaram em uma base aérea no Rio Grande do Norte costumavam frequentar festas locais muito animadas em que os potiguares executavam músicas regionais dançantes que suscitavam a alegria e o envolvimento de todos. Nesses eventos havia pessoas de várias etnias, diferentes níveis culturais e sociais, além de situações econômicas distintas. Eram, de fato, festas "para todos", em inglês, "for all". Este termo se popularizou, sendo abreviado para "forró".

Banco de imagens/Arquivo da editora





Hoje, o forró também é sinônimo de um ritmo nordestino que, em sua versão mais tradicional – a do forró pé de serra –, envolve um trio de músicos que tocam, como na imagem anterior, um triângulo, uma sanfona e uma zabumba.

Considere que um triângulo não equilátero, como o de um trio de forró, seja confeccionado de um fio metálico homogêneo de espessura constante. Admita ainda que esse triângulo seja colocado em um forno que provoca uma dilatação térmica isotrópica nos três lados desse instrumento, sem mudança de estado físico.

A respeito dessa situação, são apresentadas as proposições abaixo.

Avalie cada uma como Verdadeira (**V**) ou Falsa (**F**).

- I. Se um determinado lado do triângulo sofrer uma dilatação linear absoluta de 0,8 mm, o mesmo ocorrerá com os demais lados.
- II. Se um determinado lado do triângulo sofrer uma dilatação linear relativa de 0,2%, o mesmo ocorrerá com os demais lados.
- III. O triângulo dilatado terá ângulos internos respectivamente iguais aos ângulos internos do triângulo à temperatura inicial.
- IV. O triângulo dilatado não será semelhante ao triângulo à temperatura inicial.

De I para IV, a sequência correta de **V** e **F** é:

- a) V V V V
- b) F F F F
- c) F V V F
- d) F V V V
- e) V F F V

166. “É mesmo de arrepiar quando uma moto potente, trafegando em movimento uniforme, emitindo um ronco intenso de frequência constante, ultrapassa o carro da gente em uma rodovia retilínea!”

Acontece que, na aproximação, o som do veículo é percebido mais agudo e com intensidade crescente. Já no afastamento, sucede o contrário, nota-se o som da moto mais grave e com intensidade decrescente.

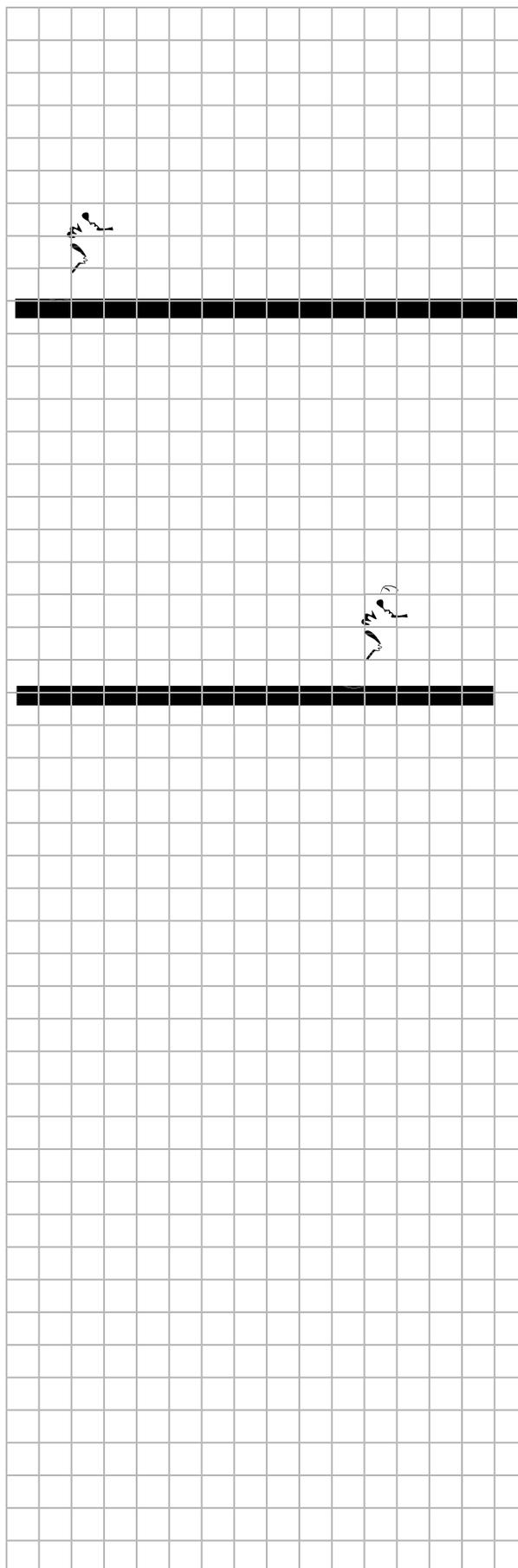
Essa variação aparente na frequência do som decorre do fato de existir movimento relativo entre o observador e a fonte de som, o que caracteriza o efeito Doppler sonoro.

Alexander Kirch/Shutterstock



Considere um observador em repouso à beira de uma estrada visualizando uma moto que vai passar diante dele com velocidade de intensidade constante. O veículo emite um ronco intenso de frequência constante, que é notado na aproximação com uma variação de frequência de módulo Δf_1 em relação à frequência sonora real, e no afastamento com uma variação de frequência de módulo Δf_2 também em relação à frequência sonora real. Considerando-se o ar em repouso em relação ao solo, é correto afirmar que:

- a) $0 < \frac{\Delta f_1}{\Delta f_2} < 1$
- b) $\frac{\Delta f_1}{\Delta f_2} = 1$
- c) Se a intensidade da velocidade da moto for igual a um quarto da intensidade da velocidade do som, então, $\frac{\Delta f_1}{\Delta f_2} = \frac{5}{3}$.
- d) Se a intensidade da velocidade da moto for igual a um quinto da intensidade da velocidade do som, então, $\frac{\Delta f_1}{\Delta f_2} = \frac{5}{2}$.
- e) Se a intensidade da velocidade da moto for igual a um sexto da intensidade da velocidade do som, então, $\frac{\Delta f_1}{\Delta f_2} = \frac{7}{4}$.



Respostas

1 – Temperatura e o calor e sua propagação

- c
- b
- c
- a
- a
- d
- d
- c
- c
- a
- e

2 – Calor sensível e calor latente

- a
- a
- a
- c
- e
- a
- 225 kcal
- c
- 1,0 cal/s
- e
- c

3 – Gases perfeitos e termodinâmica

- b
- c
- e
- d
- 20%
- d
- d
- a
- b
- d
- d
- a
- b
- b
- $2,8 \cdot 10^5 \text{ J}$ e $2,0 \cdot 10^4 \text{ J}$
- a) 7,5 b) $9 \cdot 10^2 \text{ J}$
- a

4 – Dilatação térmica dos sólidos e dos líquidos

- 2,0 m
- 32,5 °C
- b
- d
- $\alpha_{\text{tampa}} > \alpha_{\text{vidro}}$

- d
- b
- b
- e

5 – Movimento harmônico simples (MHS)

- a
- II, III e V
- c
- a) $k = 80 \text{ N/m}$
b) $T = 0,45 \text{ s}$
- 22

6 – Ondas

- 0,4 s
- e
- d
- b
- b
- a
- e
- d
- d
- 12 cm
- d

7 – Acústica

- e
- b
- $f' = 98 \text{ Hz}$
- b
- e
- d
- e

8 – Fundamentos da Óptica Geométrica e reflexão da luz

- e
- d
- a) virtual
b) 45°
c) 30°
- b
- e
- b
- d
- d
- c
- a) 8 imagens
b) 40°
- e
- b
- a

9 – Refração da luz

- a
- e
- a
- d
- c
- a
- 15°
- a

10 – Lentes esféricas

- a
- d
- e
- e
- b
- a

11 – Instrumentos ópticos e Óptica da visão

- a) 19,0 m e 19,2 m
b) 95,0
- a) Cones: visualização das cores
b) Os músculos ciliares se contraem e a distância focal do cristalino diminui.

- b
- a
- b
- b
- d
- c
- c
- d

Rumo ao Ensino Superior

- 78,3 °C
- a
- c
- e
- a) 10 mm
b) 60 cmHg
c) $1,0 \cdot 10^{-5} \text{ m}$ (infravermelho)
- b
- c
- c
- 60 kcal
- a) R\$ 1296,00
b) 1080 m³
- 22
- a) $1440 \cdot 10^3 \text{ cal}$
b) 48%
- b
- d
- 30 mcal/g°C
- 20 °C
- b
- a
- c
- a
- $2,6 \cdot 10^5 \text{ J}$
- 36 cal/s
- d
- e
- d
- c
- d
- b
- a
- a) 240 cal
b) 0,21 L/kg · km
- a
- b
- b
- b
- b
- b
- e
- c
- b
- d
- 65 °C
- a
- a
- d
- b
- 17800 cal; 690 g
- b
- c
- a) 238 g
b) 84 min
- c
- b
- F; V; V; F; V.
- 218,4 °C
- b
- a
- e
- 3,3%
- d
- d

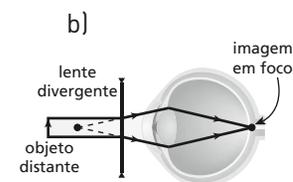
59. 768 mm
 60. a) $3,78 \cdot 10^4$ N
 b) 360 K
 61. e
 62. a) $2,2 \cdot 10^{-5}$ m³
 b) 20 N
 c) 546 K
 d) $3,3 \cdot 10^{-5}$ m³
63. a)
 $\frac{V}{V_E}(\text{CO}_2) = 6,3 \cdot 10^{-2}$;
 $\frac{V}{V_E}(\text{N}_2) = 8,0 \cdot 10^{-2}$;
 $\frac{V}{V_E}(\text{Ar}) = 6,7 \cdot 10^{-2}$;
 $\frac{V}{V_E}(\text{Ne}) = 9,5 \cdot 10^{-2}$
 e $\frac{V}{V_E}(\text{He}) = 2,1 \cdot 10^{-1}$
- b) De acordo com os resultados obtidos, o hélio (He) é o gás com maior velocidade quadrática média, podendo escapar com mais facilidade.
 Nas proximidades da superfície, encontramos maior concentração de CO₂ e Ar, seguidas por N₂ e Ne.
64. $T_B \cong 293$ K e 2 mol
 65. d
 66. I, II, III e V.
 67. c
 68. e
 69. $2,0 \cdot 10^3$ N; $\frac{400}{3}$ J
 70. a
 71. a) 25%
 b) 0,4
 72. c
 73. a

74. a) 6 ℓ
 b) 12 atm
 c) 900 K
 d) 15 110 J
75. c
 76. Discordo.
 77. 13 h 20 min
 78. c
 79. c
 80. c
 81. d
 82. b
 83. c
 84. d
 85. e
 86. b
 87. c
 88. a
 89. d
 90. a
 91. b
 92. a
 93. c
 94. d
 95. d
 96. b
 97. e
 98. e
 99. $5 \cdot 10^2$ kg/m³
 100. a
 101. b
 102. $\frac{\ell}{4} \left(1 + \frac{\sqrt{2}}{2} \right)$
 103. e
 104. d
 105. c
 106. d
 107. b
 108. d
 109. e
 110. b
 111. e
 112. c
 113. a
 114. a) 1 min 40 s
 b) 10 cm
 c) $n = 10$
 115. a
 116. e

117. V; V; V; V; V; V; V.
 118. b
 119. d
 120. d
 121. d
 122. a
 123. 2,72 μm
 124. b
 125. c
 126. a) 2000 Hz
 b) 343,4 m/s
 c) 2020 Hz
 d) 3366 Hz
127. c
 128. d
 129. a
 130. b
 131. a) 15 cm
 b) 5 cm/s
 132. a
 133. a) 18 m
 b) -4 m
 134. c
 135. a
 136. a) O lápis foi posicionado diante de um espelho côncavo.
 b) A imagem poderá estar a 5 m do vértice (imagem real) ou a 3 m desse ponto (imagem virtual).
137. e
 138. b
 139. c
 140. e
 141. $n > \frac{2\sqrt{3}}{3}$
 142. c
 143. e
 144. a) Incidência normal
 b) $n_{\text{liq}} = 1,4$
 c) 21 cm
 145. d
 146. $\left(\frac{R}{d} \right)_{\text{mín}} \cong 2$

147. c
 148. c
 149. c
 150. a) $\text{sen } \beta = 0,60$
 b) 87,5 cm
 151.

$$\text{esen } \theta_1 \left(1 - \frac{\cos \theta_1}{\sqrt{n^2 - \text{sen}^2 \theta_1}} \right)$$
152. a) Explicação
 b) 45 °C
 153. b
 154. c
 155. d = 40 cm
 156. e
 157. e
 158. b
 159. a) 9,0 cm
 b) 4,5 cm
 160. a) $f = 20$ cm
 b) $V_m = 8,0$ cm/s
 c) $g_i = 20$ m/s²
 161. a) 12 cm
 b) 18 cm
 162. a) A lente é divergente.
 b) A imagem é virtual, direita e menor que o objeto.
 163. a) Lentes esféricas divergentes -3,00 di; distância focal aproximadamente 0,33 m = 33 cm.



164. a) 3,0 di
 b) 25%
 165. c
 166. c

Significado das siglas dos vestibulares

Acafe-SC: Associação Catarinense das Fundações Educacionais (Santa Catarina)

AFA-SP: Academia da Força Aérea (São Paulo)

Cesgranrio-RJ: Centro de Seleção de Candidatos ao Ensino Superior do Grande Rio (Rio de Janeiro)

CPAEN-RJ: Concurso Público de Admissão à Escola Naval (Rio de Janeiro)

EFOMM-RJ: Escola de Formação de Oficiais da Marinha Mercante (Rio de Janeiro)

Enem: Exame Nacional do Ensino Médio

Fameca-SP: Faculdade de Medicina de Catanduva (São Paulo)

Famema-SP: Faculdade de Medicina de Marília (São Paulo)

Famerp-SP: Faculdade de Medicina de São José do Rio Preto (São Paulo)

Fatec-SP: Faculdade de Tecnologia (São Paulo)

FCMSCSP: Faculdade de Ciências Médicas da Santa Casa de São Paulo

Fepar-PR: Faculdade Evangélica do Paraná

FGV-SP: Fundação Getúlio Vargas (São Paulo)

FICSAE-SP: Faculdade Israelita de Ciências da Saúde Albert Einstein (São Paulo)

FMABC-SP: Faculdade de Medicina do ABC (São Paulo)

FMJ-SP: Faculdade de Medicina de Jundiaí (São Paulo)

Fuvest-SP: Fundação Universitária para o Vestibular (São Paulo)

IFSC: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina

IJSO: Olimpíada Internacional Júnior de Ciências (International Junior Science Olympiad)

IME-RJ: Instituto Militar de Engenharia (Rio de Janeiro)

ITA-SP: Instituto Tecnológico de Aeronáutica (São Paulo)

OBF: Olimpíada Brasileira de Física

OPF: Olimpíada Paulista de Física

PUC-MG: Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

PUC-PR: Pontifícia Universidade Católica do Paraná

PUC-RJ: Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro

PUC-SP: Pontifícia Universidade Católica de São Paulo

SBF: Sociedade Brasileira de Física

SLMandic-SP: Faculdade São Leopoldo Mandic (São Paulo)

Udesc: Universidade do Estado de Santa Catarina

UEA-AM: Universidade do Estado do Amazonas

Uece: Universidade Estadual do Ceará

UEFS-BA: Universidade Estadual de Feira de Santana (Bahia)

UEL-PR: Universidade Estadual de Londrina (Paraná)

Uema: Universidade Estadual do Maranhão

UEM-PR: Universidade Estadual de Maringá (Paraná)

UEPB: Universidade Estadual da Paraíba

Uerj: Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Uern: Universidade do Estado do Rio Grande do Norte

Ufes: Universidade Federal do Espírito Santo

UFF-RJ: Universidade Federal Fluminense (Rio de Janeiro)

UFG-GO: Universidade Federal de Goiás

UFJF-MG: Universidade Federal de Juiz de Fora (Minas Gerais)

UFJF/Pism-MG: Universidade Federal de Juiz de Fora/ Programa de Ingresso Seletivo Misto (Minas Gerais)

Ufla-MG: Universidade Federal de Lavras (Minas Gerais)

UFPA: Universidade Federal do Pará

UFPB: Universidade Federal da Paraíba

UFPE: Universidade Federal de Pernambuco

UFPR: Universidade Federal do Paraná

UFRGS-RS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul

UFRN: Universidade Federal do Rio Grande do Norte

UFRR: Universidade Federal de Roraima

UFSC: Universidade Federal de Santa Catarina

Ufscar-SP: Universidade Federal de São Carlos (São Paulo)

UFTM-MG: Universidade Federal do Triângulo Mineiro (Minas Gerais)

UFU-MG: Universidade Federal de Uberlândia (Minas Gerais)

UFV-MG: Universidade Federal de Viçosa (Minas Gerais)

UnB-DF: Universidade de Brasília (Distrito Federal)

Unesp-SP: Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (São Paulo)

Unicamp-SP: Universidade Estadual de Campinas (São Paulo)

Unifesp: Universidade Federal de São Paulo

Unifor-CE: Fundação Edson Queiroz Universidade de Fortaleza (Ceará)

Uninove-SP: Centro Universitário Nove de Julho (São Paulo)

Unip-SP: Universidade Paulista (São Paulo)

Unisc-RS: Universidade de Santa Cruz do Sul (Rio Grande do Sul)

Unitau-SP: Universidade de Taubaté (São Paulo)

UPE: Universidade de Pernambuco

UPF-RS: Universidade de Passo Fundo (Rio Grande do Sul)

UPM-SP: Universidade Presbiteriana Mackenzie (São Paulo)

Urcac-CE: Universidade Regional do Cariri (Ceará)

UVA-CE: Universidade Estadual Vale do Aracá (Ceará)

UVA-RJ: Universidade Veiga de Almeida (Rio de Janeiro)

Vunesp: Fundação para o Vestibular da Unesp (São Paulo)



conecte L I V E

O CONECTE agora é CONECTE LIVE!

O CONECTE, coleção voltada para o Ensino Médio que alia Tecnologia à Educação, apresenta uma novidade nesta reformulação: o CONECTE LIVE!

O CONECTE LIVE integra conteúdos digitais exclusivos às obras de autores renomados. Além disso, promove maior interação entre alunos, professores e autores. Livros digitais, objetos educacionais digitais, entre outros conteúdos interativos, compõem a coleção.

Outra novidade! As atualizações no material didático não se encerram no momento em que os livros são impressos. Ofertas complementares e atividades diferenciadas são disponibilizadas na plataforma digital ao longo de todo o ano escolar, garantindo novidades frequentes a professores e alunos!

Para conhecer todos os materiais e os serviços do CONECTE LIVE, acesse: <http://conecte.plurall.net/>