

Propagação do calor

A propagação do calor pode realizar-se de três diferentes maneiras: condução, convecção e irradiação, estando presente em várias situações práticas. Em uma garrafa térmica, por exemplo, procura-se minimizar as trocas de calor que ocorreriam por meio dos três processos.

7.1 Fluxo de calor

O fluxo de calor através de uma superfície é a quantidade de calor transmitida por unidade de tempo.

7.2 Condução térmica

Para que ocorra transmissão de calor por condução térmica, é necessária a presença de um meio material.

7.3 Convecção térmica

A convecção térmica consiste no movimento de massas fluidas que trocam de posição por diferença de densidade.

7.4 Noções de irradiação térmica

Na irradiação térmica a transmissão de energia ocorre sem a necessidade de um meio material.

Os inuítes

Os inuítes são um grupo de esquimós que habitam o norte do Canadá, o Alasca e a Groenlândia. É deles o costume de construir iglus.



Neve para se aquecer

Polo norte, temperatura abaixo dos 30°C negativos. O que você faria para se proteger do frio? Construa uma casa de neve! O que parece estranho é uma solução bastante engenhosa. Os iglus são construções esquimós muito antigas que garantiram a sobrevivência desse povo num dos lugares mais inóspitos do planeta.



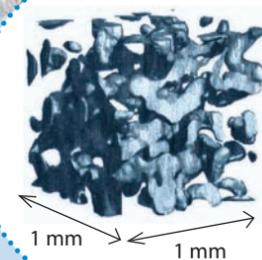
Para se construir um iglu a neve usada nos blocos deve estar bem dura (para sustentar o peso dos outros blocos).

Hoje em dia não se usam os iglus como moradia, apenas como abrigo em temporadas de caça.

A fogueira e o calor emanado pelo corpo aquecem o ar, elevando-o junto com a umidade, que congela ao passar pelas frestas entre os blocos, vedando os espaços e reforçando a estrutura.

Isolantes na natureza

A pelagem, densa e de comprimentos variados, dos ursos-polares armazena ar em seu interior e juntamente com uma espessa camada de gordura sob a pele isola o corpo do animal do meio ambiente, protegendo-o do frio.



Neve, não gelo!

A neve funciona muito bem como isolante térmico, pois, quando compactada, guarda pequenas bolsas de ar em seu interior, diferentemente do gelo, embora este também seja isolante. Isso faz toda diferença, pois o ar é um ótimo isolante térmico, evitando a transferência de calor por condução.

O revestimento das paredes e dos dormitórios é feito com peles de foca, para que o esquimó não fique em contato direto com a neve.

A gordura também é um ótimo isolante térmico. Os esquimós seguem uma dieta com grandes concentrações de lipídios, para que, assim como os ursos, possam armazenar boa quantidade de gordura sob a pele.

Para pensar

1. Por que um iglu de gelo não seria tão eficiente quanto um de neve?
2. É comum ouvirmos falar que uma blusa de lã nos esquenta no frio. Essa afirmação está correta? Justifique.

Vale a pena

Dentro do iglu, a temperatura pode chegar a "confortáveis" -3°C . Considerando que a temperatura externa fica próxima dos -30°C , dormir dentro de um iglu é uma ótima alternativa.

-3°C

-30°C

Seção 7.1

Objetivo

► Conceituar fluxo de calor e conhecer suas unidades de medida.

Termos e conceitos

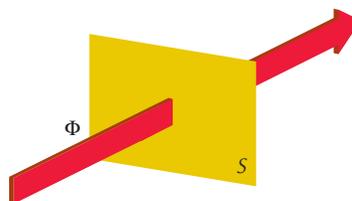
• quantidade de calor

Fluxo de calor

A propagação do calor pode ocorrer por três processos diferentes: **condução**, **convecção** e **irradiação**. Qualquer que seja o processo, a transmissão do calor obedece à seguinte lei geral:

Espontaneamente, o calor sempre se propaga de um corpo com maior temperatura para um corpo de menor temperatura.

Para os três modos de propagação, definimos a grandeza **fluxo de calor** (Φ).



► **Figura 1.** O fluxo Φ de calor através de S é numericamente igual à quantidade de calor transmitida na unidade de tempo.

Seja S uma superfície localizada na região em que ocorre a propagação de calor. O fluxo de calor Φ através da superfície S é dado pela relação entre a quantidade de calor Q que atravessa a superfície e o intervalo de tempo Δt decorrido:

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

As unidades usuais de fluxo de calor são cal/s e kcal/s. No Sistema Internacional de Unidades (SI), a unidade é o watt (W), que corresponde ao joule por segundo (J/s).

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.



► O calor gerado na combustão propaga-se da fogueira ao seu entorno, aquecendo o ambiente e as pessoas próximas.

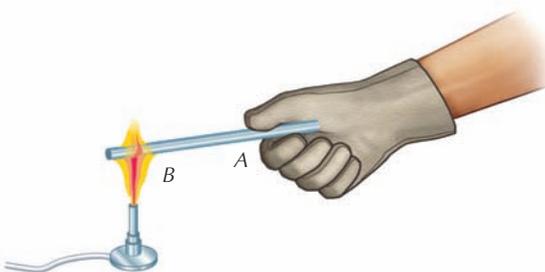
Objetivos

- ▶ Compreender como ocorre o processo de condução térmica.
- ▶ Enunciar a lei de Fourier da condução térmica.
- ▶ Reconhecer a ocorrência e as aplicações da condução térmica no cotidiano.

Termos e conceitos

- regime estacionário de condução de calor
- coeficiente de condutibilidade térmica
- condutor térmico
- isolante térmico

Segure a extremidade *A* de uma barra de ferro *AB* (fig. 2) e leve a outra extremidade a uma chama. Após um intervalo de tempo relativamente curto, a extremidade que você segura estará quente, o que requer o uso de uma luva protetora.



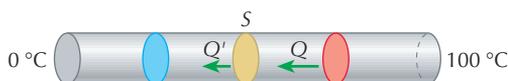
◀ **Figura 2.** O ferro é bom condutor: o calor se propaga rapidamente da extremidade *B* à extremidade *A*.

O processo pelo qual o calor se propagou da chama para a sua mão é denominado **condução térmica**. O calor é transmitido de uma extremidade a outra por meio da agitação molecular e dos choques entre as moléculas. A rapidez com que a extremidade *A* se apresentou aquecida caracteriza a condição de bom condutor do ferro. Se a experiência descrita fosse realizada com uma barra de vidro, somente depois de muito tempo a extremidade *A* estaria aquecida, pois o vidro é um mau condutor de calor, ou seja, é um isolante térmico.

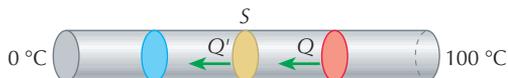
Para ocorrer a condução, deve existir um meio material. No entanto, é a energia que se propaga; as partes do corpo não se deslocam, havendo apenas transmissão da agitação molecular.

Imaginemos uma barra metálica inicialmente a 20 °C (fig. 3A). Uma de suas extremidades é colocada em gelo fundente (0 °C) e a outra em vapor de água em ebulição (100 °C).

A Inicialmente: $Q' < Q$



B Após certo tempo: $Q' = Q$

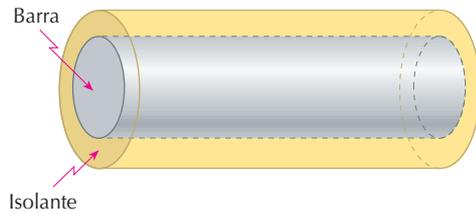


▶ **Figura 3.** Inicialmente, o regime é variável ($Q' < Q$). Após certo tempo, o regime torna-se estacionário ($Q' = Q$).

Inicialmente, a quantidade de calor Q recebida por um elemento S da barra é maior que a quantidade Q' cedida para o elemento seguinte. A diferença $Q - Q'$ é utilizada no aquecimento do elemento S . Nessas condições, dizemos que o regime de condução é variável, pois a temperatura dos elementos da barra varia à medida que o calor é conduzido.

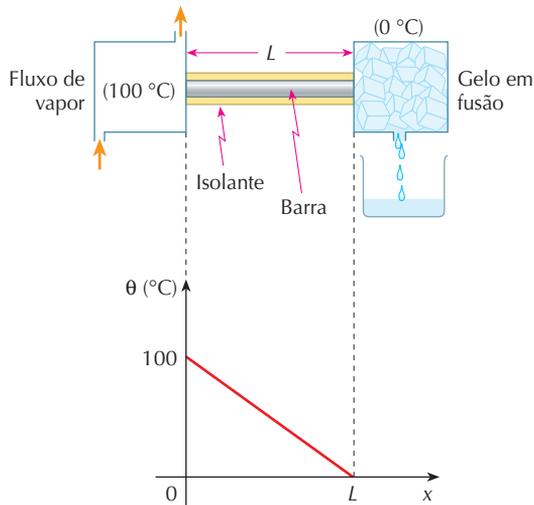
A partir de certo instante, a temperatura do elemento S da barra não mais varia: a quantidade de calor Q recebida pelo elemento S é igual à quantidade de calor Q' cedida ao elemento seguinte (fig. 3B). O regime de condução torna-se então estacionário e a temperatura dos elementos da barra não varia no decorrer do tempo.

Na prática, o regime estacionário de condução pode ser obtido com a barra envolvida por um isolante em sua superfície lateral (fig. 4), a fim de se evitar a transmissão de calor para o meio ambiente.



◀ **Figura 4.** Para se obter o regime estacionário, a barra é isolada lateralmente.

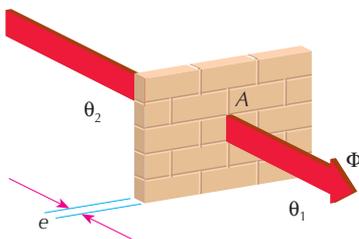
Assim, se a barra tem uma extremidade em contato com um recipiente no qual circula vapor de água em ebulição, a $100\text{ }^\circ\text{C}$, e a outra extremidade em contato com um recipiente contendo gelo em fusão, a $0\text{ }^\circ\text{C}$ (fig. 5), após certo tempo se estabelece o regime estacionário de condução. Quando isso acontece, verifica-se que, de um extremo a outro da barra, há uma distribuição uniforme de temperatura, como indica o gráfico da figura 5.



◀ **Figura 5.** No regime estacionário, a temperatura varia de um extremo a outro, uniformemente, como indica o gráfico.

1 Lei da condução térmica

Considere dois ambientes a temperaturas θ_1 e θ_2 tais que $\theta_2 > \theta_1$, separados por uma parede de área A e espessura e (fig. 6).



▶ **Figura 6.** O fluxo de calor Φ é diretamente proporcional à área A e à diferença de temperatura $\Delta\theta$, e inversamente proporcional à espessura e .



▶ **Terapia de relaxamento com pedras quentes.** As pedras, com maior temperatura que o corpo humano, geram um fluxo de calor no sentido das pedras para o corpo do paciente.

Em regime estacionário, o fluxo de calor Φ [quantidade de calor que atravessa uma superfície pelo intervalo de tempo] depende da área A da parede, da espessura e , da diferença de temperatura $\Delta\theta = \theta_2 - \theta_1$ e da natureza do material que constitui a parede.

Verifica-se experimentalmente que, para um dado material, o fluxo de calor é tanto maior quanto maior a área A , quanto maior a diferença de temperatura $\Delta\theta$ e quanto menor a espessura e .

Em regime estacionário, o fluxo de calor por condução num material homogêneo é diretamente proporcional à área da seção transversal atravessada e à diferença de temperatura entre os extremos, e inversamente proporcional à espessura da camada considerada.

Esse enunciado é conhecido como **lei de Fourier***, expressa pela fórmula:

$$\Phi = \frac{K \cdot A \cdot (\theta_2 - \theta_1)}{e}$$

A constante de proporcionalidade K depende da natureza do material, sendo denominada **coeficiente de condutibilidade térmica**. Seu valor é elevado para os bons condutores de calor (condutores térmicos), como os metais, e baixo para os isolantes térmicos. Exemplos:

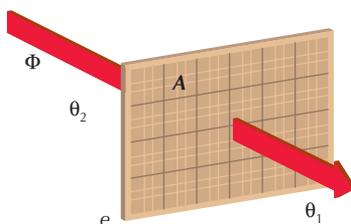
Prata	0,99 cal/s · cm · °C
Alumínio	0,50 cal/s · cm · °C
Ferro	0,16 cal/s · cm · °C

Água	0,0014 cal/s · cm · °C
Lã	0,000086 cal/s · cm · °C
Ar seco	0,000061 cal/s · cm · °C

EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

R. 38 Quantas calorias são transmitidas por metro quadrado de um cobertor de 2,5 cm de espessura, durante uma hora, estando a pele a 33 °C e o ambiente a 0 °C? O coeficiente de condutibilidade térmica do cobertor é 0,00008 cal/s · cm · °C.

Solução:



Temos: $K = 0,00008 \text{ cal/s} \cdot \text{cm} \cdot \text{°C}$; $A = 1 \text{ m}^2 = 10^4 \text{ cm}^2$; $\theta_2 - \theta_1 = 33 \text{ °C}$; $e = 2,5 \text{ cm}$
Admitindo ser estacionário o regime de condução, o fluxo de calor Φ vale:

$$\Phi = \frac{K \cdot A \cdot (\theta_2 - \theta_1)}{e} = \frac{0,00008 \cdot 10^4 \cdot 33}{2,5} \Rightarrow \Phi = 10,56 \text{ cal/s}$$

De $\Phi = \frac{Q}{\Delta t}$, vem: $Q = \Phi \cdot \Delta t$

Mas: $\Delta t = 1 \text{ h} = 3.600 \text{ s}$

Portanto: $Q = 10,56 \cdot 3.600 \Rightarrow Q = 38.016 \text{ cal}$

Resposta: 38.016 cal

* **FOURIER**, Jean Baptiste Joseph (1768-1830), físico e matemático francês, viveu na época de Napoleão, para quem trabalhou na França e no Egito. Ao estudar a propagação de calor em corpos sólidos, desenvolveu um recurso matemático importante (as séries de Fourier), que facilita a descrição de funções complicadas.

R. 39 Uma barra de alumínio ($K = 0,5 \text{ cal/s} \cdot \text{cm} \cdot ^\circ\text{C}$) está em contato, numa extremidade, com gelo em fusão e, na outra, com vapor de água em ebulição sob pressão normal. Seu comprimento é 25 cm, e a seção transversal tem 5 cm^2 de área. Sendo a barra isolada lateralmente e dados os calores latentes de fusão do gelo e de vaporização da água ($L_F = 80 \text{ cal/g}$; $L_V = 540 \text{ cal/g}$), determine:

- a) a massa do gelo que se funde em meia hora;
- b) a massa de vapor que se condensa no mesmo tempo;
- c) a temperatura numa seção da barra a 5 cm da extremidade fria.

Solução:

Dados: $e = 25 \text{ cm}$; $A = 5 \text{ cm}^2$; $K = 0,5 \text{ cal/s} \cdot \text{cm} \cdot ^\circ\text{C}$

O fluxo de calor que atravessa a barra é igual a:

$$\Phi = \frac{K \cdot A \cdot (\theta_2 - \theta_1)}{e} = \frac{0,5 \cdot 5 \cdot (100 - 0)}{25} \Rightarrow \Phi = 10 \text{ cal/s}$$

Em meia hora, isto é, em $\Delta t = 1.800 \text{ s}$, a quantidade de calor recebida pelo gelo e perdida pelo vapor será:

$$Q = \Phi \cdot \Delta t \Rightarrow Q = 10 \cdot 1.800 \Rightarrow Q = 18.000 \text{ cal}$$

- a) Recebendo essa quantidade de calor, o gelo sofre fusão. A massa que se funde será dada por:

$$Q = m \cdot L_F \Rightarrow m = \frac{Q}{L_F}$$

Como $L_F = 80 \text{ cal/g}$, vem:

$$m = \frac{18.000}{80} \Rightarrow m = 225 \text{ g}$$

- b) Perdendo essa quantidade de calor ($Q' = -18.000 \text{ cal}$) e sendo o calor latente de condensação do vapor $L_C = -540 \text{ cal/g}$, a massa de vapor que se condensa será dada por:

$$Q' = m' \cdot L_C \Rightarrow m' = \frac{Q'}{L_C} \Rightarrow m' = \frac{-18.000}{-540} \Rightarrow m' \approx 33,3 \text{ g}$$

- c) Em relação à extremidade quente:

$$e = 25 - 5 \Rightarrow e = 20 \text{ cm}$$

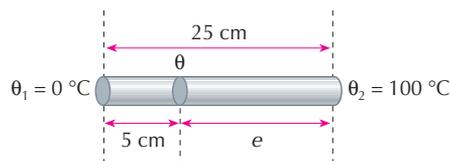
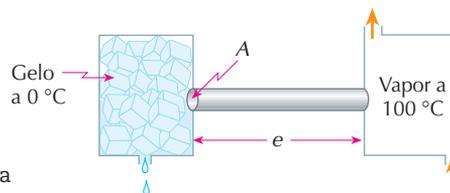
Sabe-se ainda que:

$$\Phi = 10 \text{ cal/s}; A = 5 \text{ cm}^2; K = 0,5 \text{ cal/s} \cdot \text{cm} \cdot ^\circ\text{C}$$

Na fórmula do fluxo de calor:

$$\Phi = \frac{K \cdot A \cdot (\theta_2 - \theta)}{e} \Rightarrow 10 = \frac{0,5 \cdot 5 \cdot (100 - \theta)}{20} \Rightarrow \theta = 20^\circ\text{C}$$

Respostas: a) 225 g; b) $\approx 33,3 \text{ g}$; c) 20°C



EXERCÍCIOS PROPOSTOS

P. 123 Uma placa é atravessada por uma quantidade de calor igual a $3,0 \cdot 10^3 \text{ cal}$ em um intervalo de tempo de 5 minutos. Determine o fluxo de calor através dessa placa expressa em cal/s e em watt. Considere $1 \text{ cal} = 4 \text{ J}$.

P. 124 (IME-RJ) Um vidro plano, com coeficiente de condutibilidade térmica $0,00183 \text{ cal/s} \cdot \text{cm} \cdot ^\circ\text{C}$, tem uma área de 1.000 cm^2 e espessura de 3,66 mm. Sendo o fluxo de calor por condução através do vidro de 2.000 cal/s , calcule a diferença de temperatura entre suas faces.

P. 125 Uma das extremidades de uma barra de cobre, com 100 cm de comprimento e 5 cm^2 de seção transversal, está situada num banho de vapor-d'água sob pressão normal, e a outra extremidade, numa mistura de gelo fundente e água. Despreze as perdas de calor pela superfície lateral da barra. Sendo $0,92 \text{ cal/s} \cdot \text{cm} \cdot ^\circ\text{C}$ o coeficiente de condutibilidade térmica do cobre, determine:

- a) o fluxo de calor através da barra;
- b) a temperatura numa seção da barra situada a 20 cm da extremidade fria.



P. 126 Um recipiente consta de duas partes separadas por uma placa de zinco ($K = 0,3 \text{ cal/s} \cdot \text{cm} \cdot ^\circ\text{C}$) com 10 mm de espessura, 20 cm de altura e 40 cm de largura. Num dos compartimentos há gelo a 0°C e, através do outro, passa continuamente vapor de água a 100°C . Sendo 80 cal/g o calor latente de fusão do gelo, determine a massa de gelo que se derrete em cada minuto.

P. 127 Uma barra de prata tem seção de 1 cm^2 e 50 cm de comprimento. Uma de suas extremidades está em contato com água fervendo, sob pressão normal, e a outra é envolvida por uma “camisa” refrigerada por água corrente, que entra a 10°C na camisa. Sendo o coeficiente de condutibilidade térmica da prata $1,00 \text{ cal/cm} \cdot \text{s} \cdot ^\circ\text{C}$ e supondo que em 6 min passem 200 g de água pela camisa, calcule o aumento de temperatura experimentado por esse líquido.

2 Aplicações da condução térmica

O isolamento térmico é uma importante aplicação relacionada com a condução. Assim, utilizam-se materiais isolantes térmicos para minimizar a transferência de calor entre corpos a diferentes temperaturas. É o que acontece nas geladeiras de isopor, nos agasalhos feitos de material isolante, nas paredes de fogões e refrigeradores, isolados do exterior por materiais como lã de vidro e poliuretano, e nos cabos de panelas.



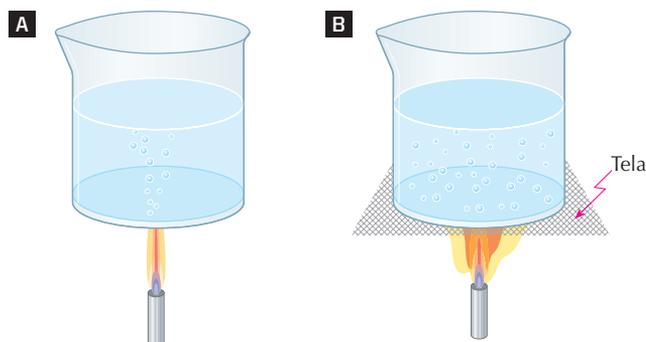
▶ A panela deve ter cabo isolante para possibilitar seu manuseio pelo cozinheiro.



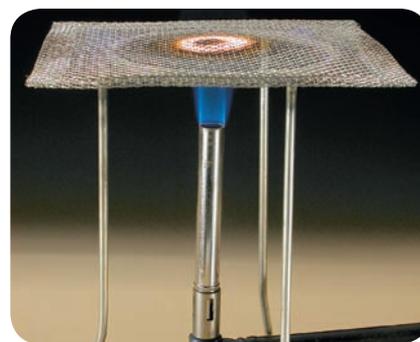
▶ As caixas de isopor são largamente utilizadas para manter a temperatura dos objetos em seu interior.

Outra aplicação interessante do fenômeno da condução térmica é o uso de telas metálicas. Sabemos que, colocando-se um recipiente de vidro comum diretamente numa chama (fig. 7A), ele se rompe, pois a região diretamente aquecida se dilata mais que as regiões vizinhas. No entanto, interpondo-se uma tela metálica entre a chama e o recipiente, a ruptura não acontece (fig. 7B). Sendo boa condutora, a tela transmite rapidamente o calor para todos os pontos de sua própria extensão, garantindo um aquecimento uniforme para o recipiente.

Note, na foto abaixo, que a chama não ultrapassa a tela, em virtude de o calor se distribuir em toda a sua extensão. Assim, os gases não queimam na região logo acima da tela, pois ali a temperatura não alcança valores suficientemente elevados.



▶ Figura 7. A tela metálica distribui uniformemente o calor pela base do recipiente.



▶ A tela retém a chama.

No mesmo princípio se baseia a lâmpada de segurança dos mineiros ou lâmpada de Davy, esquematizada na **figura 8**, na qual uma pequena chama fica envolvida por uma tela metálica. Nas minas de carvão, essa lâmpada é usada para detectar a presença do explosivo gás **grisu** (metano). O contato desse gás com a chama da lâmpada produz uma pequena explosão, que apaga a chama. O calor liberado na queima não faz explodir o restante do gás grisu, pois esse calor se distribui pela extensão da tela. A pequena explosão e o fato de a chama se apagar são sinais de alerta.

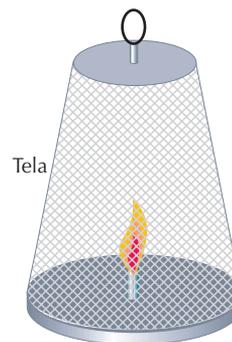


Figura 8. Lâmpada de Davy.

A condução do calor no dia a dia

A preocupação com a condução do calor está presente em várias situações práticas:

1. Os esquimós fazem suas casas, os iglus, com blocos de neve compactada que é, assim como o gelo, um excelente isolante térmico, mantendo o ambiente interno mais quente que o externo.
2. As roupas de lã dos beduínos do deserto isolam seu corpo, de modo a minimizar as trocas de calor do ambiente para o corpo, durante o dia, e do corpo para o ambiente, à noite.
3. Periodicamente, nas geladeiras mais antigas, o gelo que se forma sobre o congelador deve ser removido para não prejudicar as trocas de calor com o interior da geladeira.
4. No inverno, os pássaros costumam eriçar suas penas para acumular ar entre elas. Sendo isolante térmico, o ar diminui as perdas de calor para o ambiente.



Um esquimó construindo seu iglu.



Ave com penas eriçadas.



Beduíno coberto com roupas de lã em um deserto.

Convecção térmica

Objetivos

► Compreender como ocorre o processo de convecção térmica.

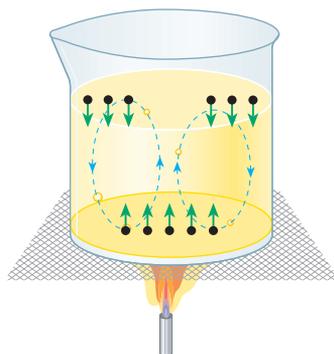
► Reconhecer a ocorrência e as consequências da convecção térmica.

Termos e conceitos

- correntes de convecção
- brisa marítima
- brisa terrestre
- inversão térmica

A convecção consiste no transporte de energia térmica de uma região para outra por meio do **transporte de matéria**, o que só pode ocorrer nos fluidos (líquidos e gases).

A movimentação das diferentes partes do fluido ocorre pela diferença de densidade que surge em virtude do seu aquecimento ou resfriamento. Na **figura 9** está representado um líquido sendo aquecido em sua parte inferior. As porções mais quentes das regiões inferiores, tendo sua densidade diminuída, sobem. As porções mais frias da região superior, tendo maior densidade, descem. Colocando-se serragem no líquido, é possível visualizar as correntes líquidas ascendentes quentes e descendentes frias. Essas correntes líquidas são denominadas **correntes de convecção**.



◀ **Figura 9.** Correntes de convecção num líquido em aquecimento.

Citamos, a seguir, algumas aplicações e consequências da convecção térmica.

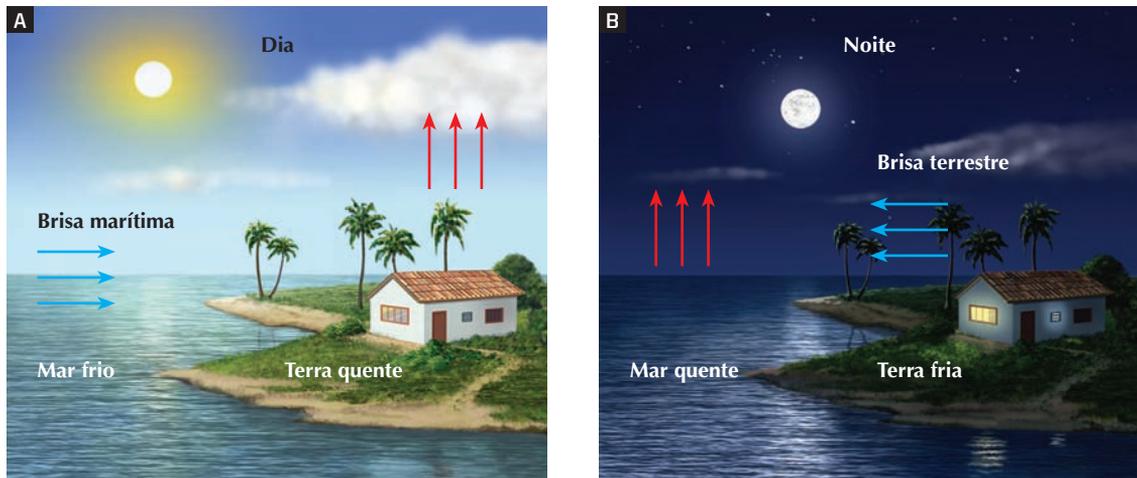
- Na retirada de gases pelas chaminés, os gases aquecidos, resultantes da combustão, têm densidade diminuída e sobem, sendo eliminados. Ao redor da chama, cria-se uma região de baixa pressão que “aspira” o ar externo, mantendo a combustão.
- Devido a diferenças de temperatura em diferentes pontos da atmosfera, estabelecem-se correntes de convecção ascendentes, de ar quente, e descendentes, de ar frio. Planadores, asas-delta e outros veículos não motorizados movimentam-se no ar graças a essas correntes. O veículo somente ganha altitude quando alcança uma corrente quente ascendente, pois em voo planado está sempre descendo.



Para permitir a convecção térmica, o congelador da geladeira deve estar na parte superior (1), mas o aquecedor de um ambiente deve ser colocado no solo (2). ▶

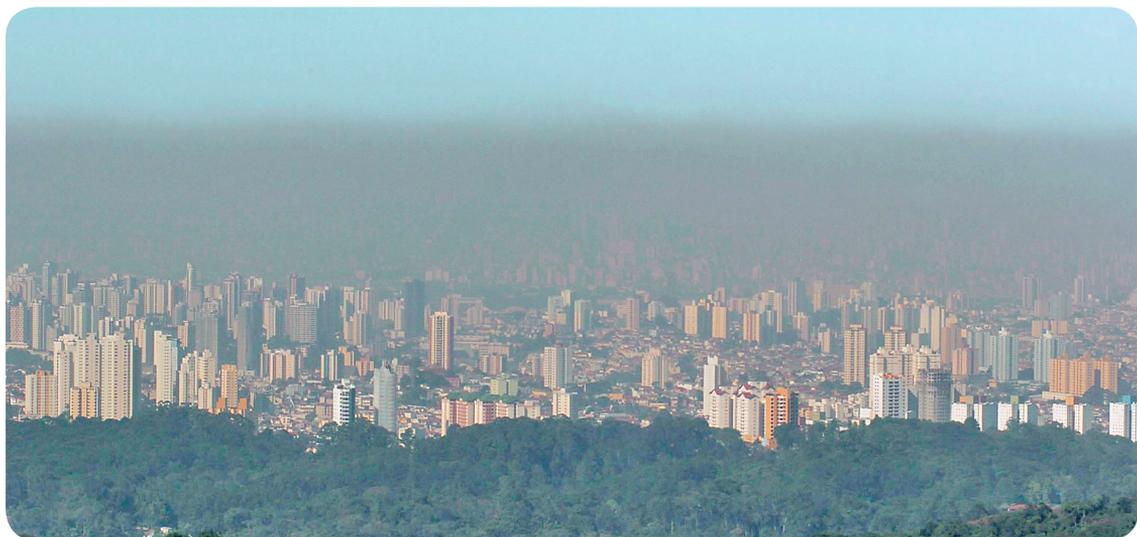


- Nos radiadores de automóveis, a água quente aquecida pelo motor, sendo menos densa, sobe e a água mais fria da parte superior desce. Para melhor eficiência, a convecção pode ser forçada por uma bomba-d'água.
- Quando um ambiente é resfriado, esse resfriamento é feito a partir da região superior, porque o fluido frio tende a descer. Assim: o congelador das geladeiras de uma porta só é colocado na parte superior; o ar-condicionado de uma sala de cinema é localizado no teto; ao resfriar-se um barril de chope, o gelo é colocado sobre o barril.
- A água, tendo alto calor específico, sofre variações de temperatura relativamente pequenas. Desse modo, numa região litorânea, a terra se aquece mais do que o mar durante o dia. O ar aquecido, em contato com a terra, sobe e produz uma região de baixa pressão, aspirando o ar que está sobre o mar. Sopra a brisa marítima (fig. 10A). À noite, ao perder calor, a terra se resfria mais do que o mar. O processo se inverte e sopra a brisa terrestre (fig. 10B).



▲ **Figura 10.** Durante o dia, sopra a brisa marítima e, à noite, sopra a brisa terrestre.

Nas grandes cidades, a convecção é um fenômeno muito importante para a dispersão dos poluentes atmosféricos. Estando os gases eliminados pelos veículos automotores e pelas indústrias mais quentes que o ar das camadas superiores, eles sobem e se diluem na atmosfera. No inverno, entretanto, é comum o ar poluído próximo ao solo estar mais frio que o ar puro das regiões mais elevadas. Desse modo, deixa de ocorrer a convecção, aumentando a concentração dos poluentes no ar que a população respira, com graves consequências, sobretudo para crianças e pessoas idosas ou doentes. Essa ocorrência recebe o nome de **inversão térmica** e pode ser agravada na ausência de ventos e de chuva.



▲ A cidade de São Paulo, em uma manhã de inversão térmica, vista da Serra da Cantareira.

» **Objetivos**

- ▶ Compreender como ocorre o processo de irradiação.
- ▶ Conceituar absorvidade, refletividade e transmissividade.
- ▶ Enunciar a lei dos intercâmbios.
- ▶ Conceituar corpo negro e poder emissivo de um corpo.
- ▶ Enunciar e aplicar a lei de Stefan-Boltzman e a lei de Kirchhoff.
- ▶ Reconhecer a ocorrência da irradiação térmica em fenômenos cotidianos.

» **Termos e conceitos**

- espelho ideal
- emissividade
- efeito estufa
- termografia

A transmissão de energia por meio de ondas eletromagnéticas (ondas de rádio, luz visível e raios ultravioleta, entre outras) é denominada **irradiação** ou **radiação**. Quando essas ondas são os raios infravermelhos, falamos em **irradiação térmica**.

Ao contrário da condução térmica e da convecção térmica, a irradiação ocorre sem a necessidade de um meio material: o transporte é exclusivamente de energia, sob a forma de ondas.

Por exemplo, quando colocamos a mão embaixo de uma lâmpada acesa, sem tocá-la, temos a sensação de calor. Como o ar é mau condutor térmico, praticamente não ocorre condução. Também não há convecção porque o ar quente sobe. Então, o calor que nos atinge só pode ser originado de ondas que se propagam da lâmpada para nossa mão. Outro exemplo é o caso da energia que recebemos do Sol, que só pode nos atingir por irradiação, posto que no vácuo não existe meio material.

Quando a energia radiante incide na superfície de um corpo, ela é parcialmente absorvida, parcialmente refletida e parcialmente transmitida através do corpo. A parcela absorvida aumenta a energia de agitação das moléculas constituintes do corpo (energia térmica). Na **figura 11**, da quantidade total de energia Q_i incidente, é absorvida a parcela Q_a , reflete-se a parcela Q_r e é transmitida a parcela Q_t , de modo que:

$$Q_i = Q_a + Q_r + Q_t$$

Para avaliar a proporção da energia incidente que sofre os fenômenos de absorção, reflexão e transmissão, definimos as seguintes grandezas adimensionais:

Absorvidade

$$a = \frac{Q_a}{Q_i}$$

Refletividade

$$r = \frac{Q_r}{Q_i}$$

Transmissividade

$$t = \frac{Q_t}{Q_i}$$

Somando as três grandezas, obtemos:

$$a + r + t = \frac{Q_a}{Q_i} + \frac{Q_r}{Q_i} + \frac{Q_t}{Q_i} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow a + r + t = \frac{Q_a + Q_r + Q_t}{Q_i} = \frac{Q_i}{Q_i} \Rightarrow a + r + t = 1$$

Assim, por exemplo, um corpo ter absorvidade $a = 0,8$ significa que 80% da energia nele incidente foi absorvida. Os restantes 20% da energia total devem se dividir entre reflexão e transmissão.

Quando não há transmissão de energia radiante através do corpo, a transmissividade é nula ($t = 0$). Nesse caso:

$$a + r = 1$$

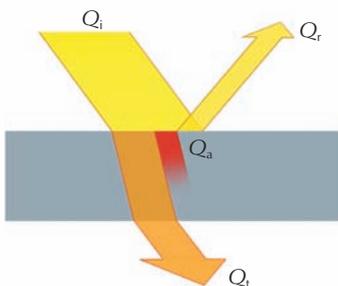


Figura 11.

As grandezas a , r e t podem ainda ser denominadas, respectivamente, **poder absorvedor**, **poder refletor** e **poder transmissor**.

Por definição, **corpo negro** é um corpo ideal que absorve toda a energia radiante nele incidente. Decorre daí que sua absorvidade é $a = 1$ (100%) e sua refletividade é nula ($r = 0$). O **espelho ideal** é um corpo que reflete totalmente a energia radiante que nele incide, tendo absorvidade nula ($a = 0$) e refletividade $r = 1$ (100%).

Corpo negro $a = 1$ $r = 0$

Espelho ideal $a = 0$ $r = 1$

Quando vários corpos a diferentes temperaturas são colocados num recinto termicamente isolado do exterior, ao fim de algum tempo todos estarão à mesma temperatura. No entanto, todos os corpos **continuam a irradiar energia**. Estabelece-se um equilíbrio dinâmico que pode ser expresso na forma da **lei dos intercâmbios**, enunciada, em 1792, pelo físico suíço Pierre Prévost*:

Todos os objetos estão irradiando energia continuamente. No equilíbrio térmico, a potência irradiada ou emitida por um objeto é igual à potência que ele absorve, na forma de radiação, dos objetos vizinhos.

Está claro que, em um ambiente isolado, se houver um corpo polido e um corpo escuro, o corpo polido absorverá pouca energia, emitindo portanto pouca energia, pois a maior parte é refletida. O corpo escuro, por sua vez, absorverá grande quantidade de energia e, em consequência, emitirá também grande quantidade de energia. E o equilíbrio térmico entre eles será mantido.

Dessa forma, todo corpo bom absorvedor é bom emissor e todo corpo bom refletor é mau emissor. O **corpo negro**, sendo o absorvedor ideal, é também o **emissor ideal** ou **perfeito**.

Na prática há corpos que apresentam absorvidades quase unitárias, como a fuligem ($a = 0,94$), que é excelente absorvedora e excelente emissora. Outros apresentam absorvidades quase nulas, sendo maus absorvedores e maus emissores, como a prata polida ($a = 0,02$).

De modo geral, os corpos escuros apresentam absorvidade elevada e refletividade baixa, sendo bons absorvedores e emissores. Ao contrário, os corpos claros e polidos são maus absorvedores e emissores, pois possuem baixa absorvidade e elevada refletividade.

Nas regiões de clima muito quente, as roupas devem ser claras, a fim de refletir a energia incidente. É o que ocorre em certas regiões do deserto onde os beduínos usam largas túnicas claras. Porém, em outras regiões, as túnicas usadas são negras. Mas as roupas escuras não aquecem mais que as roupas claras? De fato, elas atingem uma temperatura maior (cerca de $6\text{ }^{\circ}\text{C}$); entretanto, o maior aquecimento provoca, em relação à túnica branca, maior corrente de convecção do ar, sob a roupa do beduíno. O ar externo entra pela abertura inferior da túnica e sai pela parte superior, favorecendo a evaporação do suor, ajudando o organismo a regular a temperatura.



🔥 O carvão em brasa emite radiação luminosa como consequência de sua alta temperatura.

* **PRÉVOST**, Pierre (1751-1839), físico e filósofo suíço. Na Física, além de seus estudos referentes ao calor, trabalhou questões ligadas ao magnetismo.

Radiômetro de Crookes

O dispositivo denominado radiômetro de Crookes*, esquematizado na figura ao lado, é constituído de uma série de palhetas, polidas de um lado e enegrecidas do outro, colocadas numa ampola com gás rarefeito. Quando incide energia radiante no sistema, as palhetas giram no sentido indicado, porque a face enegrecida, absorvendo mais energia, aquece mais o gás ao redor. As moléculas, com maior agitação do lado enegrecido, impulsionam a palheta.

Radiômetro de Crookes. >



1 Lei de Stefan-Boltzmann. Lei de Kirchhoff

Poder emissivo (E) de um corpo é a potência irradiada (emitida) por unidade de área, sendo expressa por:

$$E = \frac{P}{A} \quad \text{Unidades usuais: } W/m^2; \text{ cal/s} \cdot \text{cm}^2$$

O poder emissivo de um corpo depende da sua natureza e da temperatura em que se encontra. Para cada temperatura, o maior poder emissivo é o do corpo negro, sendo seu valor estabelecido pela **lei de Stefan**-Boltzmann*****:

O poder emissivo do corpo negro é proporcional à quarta potência da sua temperatura absoluta.

$$E_{\text{CN}} = \sigma \cdot T^4$$

A constante de proporcionalidade σ (constante de Stefan-Boltzmann) vale, em unidades do Sistema Internacional:

$$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 \cdot K^4}$$

Assim, se tivermos um corpo negro a 1.000 K, seu poder emissivo será:

$$E_{\text{CN}} = 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot (1.000)^4 \Rightarrow E_{\text{CN}} = 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 10^{12} \Rightarrow E_{\text{CN}} = 5,67 \cdot 10^4 \text{ W/m}^2$$

É comum compararmos o poder emissivo E de um corpo qualquer com o do corpo negro E_{CN} , por meio de uma grandeza denominada **emissividade** (e):

$$e = \frac{E}{E_{\text{cn}}}$$

Evidentemente, o corpo negro apresenta emissividade unitária, ou seja:

$$e_{\text{CN}} = 1$$

Para um corpo qualquer, a lei de Stefan-Boltzmann pode ser escrita algebricamente desta maneira:

$$E = e \cdot \sigma \cdot T^4$$

- * **CROOKES**, William (1832-1919), físico e químico inglês, foi sagrado cavaleiro em 1897. Notabilizou-se pelo estudo das descargas elétricas em gases rarefeitos.
- ** **STEFAN**, Josef (1835-1893), físico austríaco, propôs, em 1879, de modo incompleto, a lei que leva seu nome. Seus trabalhos foram completados por seu discípulo Ludwig Boltzmann.
- *** **BOLTZMANN**, Ludwig (1844-1906), notável físico austríaco, foi um dos criadores da teoria cinética dos gases. São importantes ainda seus trabalhos em Termodinâmica.



Vimos que o corpo negro tem absorvidade $a_{\text{CN}} = 1$ e emissividade $e_{\text{CN}} = 1$ ($a_{\text{CN}} = e_{\text{CN}}$). Para um corpo qualquer, Kirchhoff* estabeleceu que: $e = a$, isto é:

Numa mesma temperatura, a emissividade e a absorvidade de um corpo são iguais.

Esse enunciado, conhecido como **lei de Kirchhoff**, vem confirmar o que fora dito anteriormente: um bom absorvedor de calor é também um bom emissor.

Potência irradiada

A **potência irradiada** P por um corpo de emissividade e , à temperatura T e cuja área exposta ao ambiente é A , em face das fórmulas apresentadas, pode ser expressa por:

$$P = E \cdot A \Rightarrow P = e \cdot \sigma \cdot T^4 \cdot A$$

Se o corpo estiver em equilíbrio térmico com o ambiente, sua temperatura é constante e, portanto, ele estará emitindo e absorvendo energia com a mesma rapidez. Entretanto, se as temperaturas dele e do ambiente forem diferentes, haverá um fluxo líquido de energia. Assim, se o corpo estiver a uma temperatura T e o ambiente a uma temperatura T_A , a **potência líquida** P_L de ganho ou perda de energia será dada por:

$$P_L = e \cdot A \cdot \sigma \cdot (T_A^4 - T^4)$$

Observe que a potência líquida P_L será positiva caso o ambiente esteja mais quente que o corpo ($T_A > T$), significando que o corpo está recebendo energia, isto é, absorve mais do que emite. A potência líquida P_L será negativa se o ambiente estiver mais frio que o corpo ($T_A < T$), o que significa que o corpo perde energia, isto é, emite mais do que absorve.

EXERCÍCIO RESOLVIDO

R. 40 Considere que a pele de uma pessoa tenha emissividade de 0,70 e sua área exposta seja de 0,27 m². Supondo que a temperatura da pele seja 37 °C e que o ambiente esteja a 27 °C, calcule:

- o poder emissivo da pele;
- a potência líquida que a pele irradia para o ambiente;
- o módulo da quantidade de energia líquida irradiada pela pele no intervalo de uma hora.

(Dado: constante de Stefan-Boltzmann $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$)

Solução:

- a) O poder emissivo de um corpo é dado pela fórmula $E = e \cdot \sigma \cdot T^4$. Nessa fórmula, a temperatura deve ser expressa em kelvins:

$$T = \theta + 273 = 37 + 273 \Rightarrow T = 310 \text{ K}$$

Com esse valor, obtemos:

$$E = 0,70 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot (310)^4 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow E \approx 366,5 \text{ W/m}^2$$

- b) A temperatura ambiente vale:

$$T_A = \theta + 273 = 27 + 273 \Rightarrow T_A = 300 \text{ K}$$

Aplicando a fórmula da potência líquida irradiada pela pele, teremos:

$$P_L = e \cdot A \cdot \sigma \cdot (T_A^4 - T^4) = 0,70 \cdot 0,27 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot [(300)^4 - (310)^4] \Rightarrow$$

$$\Rightarrow P_L \approx -12,1 \text{ W}$$

O sinal negativo indica que a pele está perdendo calor (aproximadamente 12,1 joules por segundo), o que é lógico, uma vez que sua temperatura é maior que a do ambiente.

- c) No intervalo de tempo $\Delta t = 1 \text{ h} = 3.600 \text{ s}$, a energia líquida perdida tem módulo dado por:

$$Q = |P_L| \cdot \Delta t \approx 12,1 \cdot 3.600 \Rightarrow Q \approx 4,36 \cdot 10^4 \text{ J}$$

Respostas: a) $\approx 366,5 \text{ W/m}^2$; b) $\approx -12,1 \text{ W}$; c) $\approx 4,36 \cdot 10^4 \text{ J}$

* **KIRCHHOFF**, Gustav Robert (1824-1887), físico alemão que apresentou importantes contribuições para a Física Experimental. Descobriu os princípios fundamentais da análise espectrográfica, tendo enunciado as leis da radiação e estabelecido o conceito de corpo negro.

EXERCÍCIO PROPOSTO

- P. 128** Um objeto de emissividade 0,40 encontra-se à temperatura de 17° C. A temperatura ambiente é de 37° C. Sendo 0,50 m² sua área exposta, determine:
- seu poder emissivo;
 - a potência líquida absorvida;
 - a quantidade de energia líquida absorvida no intervalo de 10 minutos.
- (Dado: constante de Stefan-Boltzmann $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$)

2 Aplicações e efeito da irradiação

Estufas

Uma **estufa de plantas** (fig. 12) tem paredes e teto de vidro transparente à energia radiante proveniente do Sol. O chão da estufa normalmente é pintado de preto ou de uma cor escura. A energia radiante que penetra através do vidro é absorvida pelo fundo escuro e demais objetos do interior da estufa, sendo a seguir novamente irradiada. Entretanto, essa reemissão de energia se dá na forma de raios infravermelhos de baixa frequência, que o vidro não deixa passar. Em consequência, o interior da estufa permanece sempre mais quente que o exterior. A perda de calor para o ambiente externo é mínima, o que é especialmente importante durante o período em que não há ação direta do Sol.



◀ **Figura 12.** Estufa: o vidro é transparente à energia radiante incidente e opaco às ondas de calor reemitidas.

No mesmo princípio da estufa é baseado o **coletor de energia solar**, utilizado no aquecimento central de água em residências. O coletor consta basicamente de um recinto de paredes de vidro com fundo escuro. No seu interior está o encanamento que conduz a água a ser aquecida.



▶ **Estufa de plantas**



▶ **Coletor solar**



O efeito estufa

A presença do dióxido de carbono (CO_2), o mais abundante, do óxido nítrico (N_2O), do metano (CH_4), de água (sobretudo na forma de vapor) e de outros gases, na atmosfera, determina o **efeito estufa** (termo criado pelo químico sueco Svante Arrhenius, no século XIX). Ele constitui uma condição natural de nosso planeta, que garante à Terra uma temperatura média adequada à vida.

O princípio é o mesmo das estufas de plantas. A Terra recebe, durante o dia, a energia radiante do Sol e, durante a noite, irradia energia para o espaço. Entretanto, as substâncias citadas impedem que a superfície terrestre perca, durante a noite, uma quantidade exagerada de calor para o espaço, absorvendo e reemitindo boa parte dessa radiação para a Terra. A **figura 13** mostra esquematicamente como ocorre o efeito estufa na atmosfera. Caso ele não ocorresse, a temperatura média do nosso planeta seria de -18°C (dezoito graus abaixo de zero!).

No decorrer do século 20 e no início do 21, tem ocorrido uma intensificação do efeito estufa, devido principalmente às indústrias e aos veículos automotores, que têm expelido para a atmosfera quantidades muito grandes de gases-estufa, isto é, as substâncias gasosas que determinam o efeito, principalmente o CO_2 . Em consequência, a temperatura média da Terra tende a aumentar, com graves consequências ambientais.

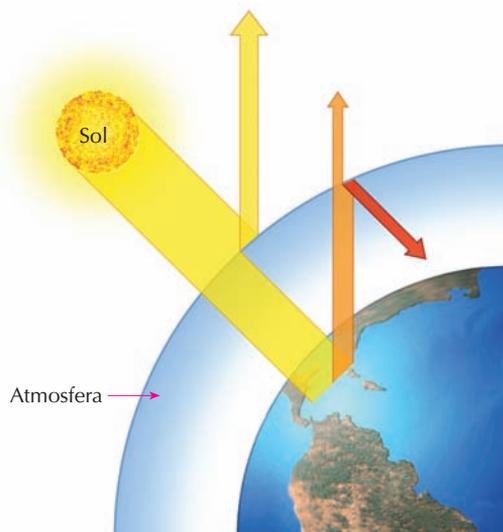


Figura 13. Esquema do efeito estufa



Conteúdo digital Moderna PLUS <http://www.modernaplus.com.br>
A Física em nosso Mundo: *Efeito estufa e aquecimento global*



Entre na rede No endereço eletrônico <http://www.comciencia.br/comciencia/handler.php?section=8&edicao=22> (acesso em julho/2009), você encontra links para vários artigos e reportagens referentes ao efeito estufa e ao aquecimento global, numa edição especial de revista eletrônica de jornalismo científico *Com Ciência*.

Usos dos raios infravermelhos

Os raios infravermelhos, isto é, as ondas de calor, têm larga aplicação.

A lâmpada de infravermelho (lâmpada de filamento com filtro que absorve a maior parte da luz visível), usada em medicina, serve também para a secagem de tintas e vernizes e para o aquecimento de ambientes.

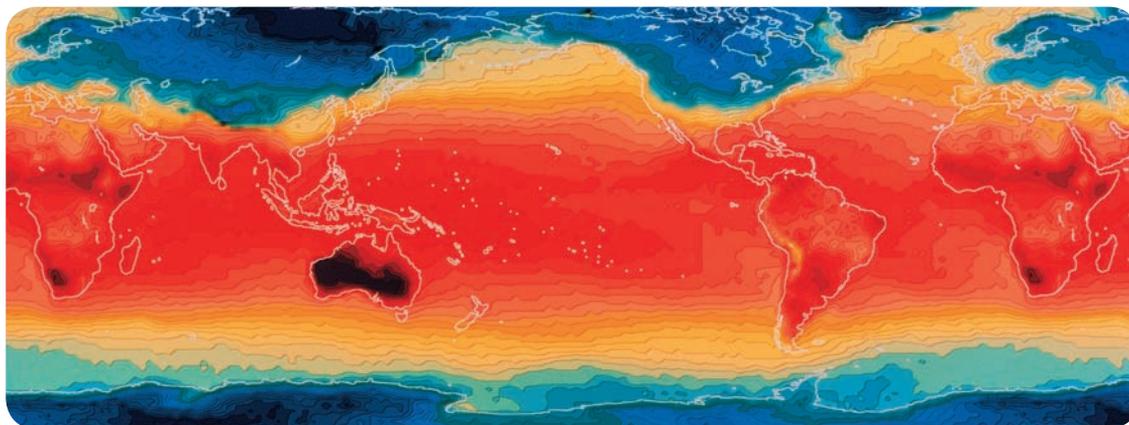
A **termografia**, técnica muito utilizada atualmente na medicina e na indústria, consiste na obtenção de imagens (termogramas) por meio de câmeras especiais (termovisores), que captam as radiações infravermelhas emitidas pelos objetos. A análise do termograma impresso (ou na tela de um computador, ou do próprio termovisor) possibilita identificar regiões de diferentes temperaturas em um objeto. Desse modo é possível diagnosticar, por exemplo, um processo tumoral, pois a temperatura das células cancerosas é diferente da apresentada pelas células normais do mesmo tecido.



Termografia de uma chaleira sobre o fogo.



Na meteorologia, satélites detectam as emissões de infravermelho da Terra, tornando possíveis previsões de temperaturas e condições climáticas. Certos mísseis “farejam” seu alvo pelas ondas de calor que este emite. Em lunetas especiais, os raios infravermelhos emitidos por um corpo são recebidos em um anteparo que os transforma em luz visível. Com esse aparelho é possível “enxergar” em completa escuridão. Existem películas fotográficas sensíveis aos raios infravermelhos, que possibilitam a tomada de fotos num ambiente totalmente escuro.

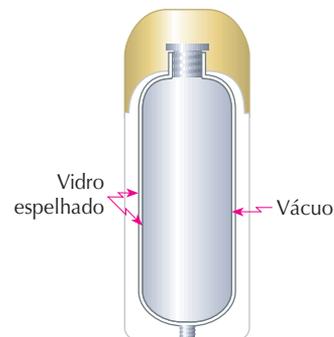


▲ Termografia da superfície terrestre. A figura é obtida, por meio de satélite, a partir da radiação infravermelha emitida pela Terra.

A garrafa térmica

É um dispositivo feito para conservar, com alteração mínima de temperatura e por longo tempo, um líquido gelado ou quente. Na garrafa térmica são minimizadas as trocas de calor que ocorreriam pelos três processos de propagação.

A garrafa (figura 14) é feita de vidro (mau condutor) com paredes duplas, entre as quais é feito o vácuo. Assim, retirando-se moléculas desse espaço, minimiza-se a ocorrência de *condução*. A *convecção* é reduzida ao mínimo por meio da vedação da garrafa com uma tampa apropriada. As faces externa e interna da garrafa são espelhadas, a fim de minimizar a *irradiação*, tanto de dentro para fora como de fora para dentro.



▲ Figura 14. Garrafa térmica.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS DE RECAPITULAÇÃO

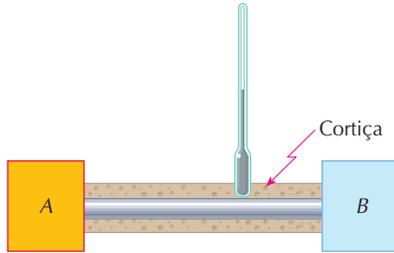
P. 129 (Olimpíada Brasileira de Física) Um galpão possui área $A = 300 \text{ m}^2$ de paredes laterais, laje, janelas e portas. O coeficiente de condutibilidade térmica média deste conjunto é $K = 0,50 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$; a espessura média é $x = 0,20 \text{ m}$. Num inverno, deseja-se manter constante, em 20°C , a diferença de temperatura $\Delta\theta$ 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. Essa quantidade de calor depende também da natureza do material que conduz o calor, ou

seja, do seu coeficiente de condutividade térmica. Matematicamente:

$$Q = \frac{K \cdot A \cdot \Delta\theta}{x}$$

- Qual é o custo mensal para manter constante a temperatura do ambiente interno por meio de lâmpadas acesas, considerando que 1 MWh de energia elétrica custa R\$ 120,00?
- Caso a temperatura interna seja mantida constante mediante um aquecedor a gás, qual será o volume mensal necessário para um gás com calor de combustão $C = 9.000 \text{ kcal/m}^3$ e 100% de rendimento do processo?

P. 130 (UEA-AM) A figura apresenta uma barra de chumbo de 40 cm de comprimento e área de secção transversal de 10 cm^2 isolada com cortiça; um termómetro fixo na barra calibrado na escala Fahrenheit e dois dispositivos A e B que proporcionam, nas extremidades da barra, as temperaturas correspondentes aos pontos do vapor e do gelo, sob pressão normal, respectivamente.

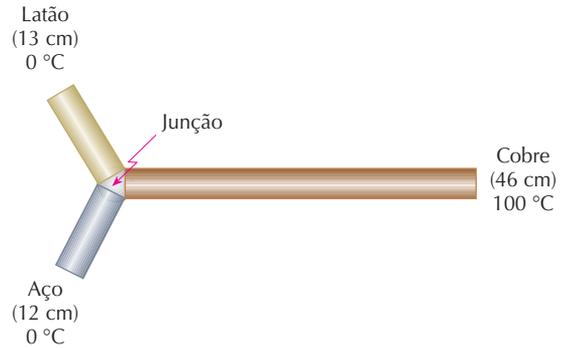


Considerando a intensidade da corrente térmica constante ao longo da barra, determine a temperatura registrada no termómetro, sabendo-se que ele se encontra a 32 cm do dispositivo A.

Dado: coeficiente de condutibilidade térmica do

$$\text{chumbo} = 8 \cdot 10^{-2} \frac{\text{cal} \cdot \text{cm}}{\text{cm}^2 \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{s}}$$

P. 131 (Mackenzie-SP) Têm-se três cilindros de mesmas secções transversais de cobre, latão e aço, cujos comprimentos são, respectivamente, de 46 cm, 13 cm e 12 cm. Soldam-se os cilindros, formando o perfil em Y indicado na figura. O extremo livre do cilindro de cobre é mantido a 100°C e os cilindros de latão e aço a 0°C .



Suponha que a superfície lateral dos cilindros esteja isolada termicamente. As condutibilidades térmicas do cobre, do latão e do aço valem, respectivamente, 0,92, 0,26 e 0,12 expressas em $\text{cal} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$. No estado estacionário de condução, qual é a temperatura na junção?

Atividade experimental

Realize a experiência com supervisão do seu professor

Determinando a capacidade térmica de um calorímetro

Consiga um recipiente de isopor pequeno, como o que é usado em restaurantes para manter “gelada” uma garrafa. Esse será o seu calorímetro.

Faça um furo em sua parte superior de modo a permitir a introdução de um termômetro comum de álcool ou mercúrio, graduado de 0 °C a 100 °C.

Inicialmente coloque cerca de 40 cm³ de água fria à temperatura θ_1 , determinada com o termômetro (cerca de 10 °C), no interior do seu calorímetro.

Em seguida, aqueça aproximadamente 60 cm³ de água até que ela atinja uma temperatura θ_2 , determinada com o termômetro, inferior a 100 °C (por exemplo, 70 °C).

Despeje agora a água quente no calorímetro. Feche-o rapidamente e agite-o para misturar as águas no seu interior. Meça com o termômetro a temperatura final de equilíbrio θ_f .

Considerando que a densidade da água é 1 g/cm³, os volumes misturados (em cm³) correspondem numericamente às massas (em gramas). Sendo $c = 1 \text{ cal/g} \cdot \text{°C}$ o calor específico da água, calcule o **módulo** das quantidades de calor trocadas pelas duas massas de água:

$$|Q_1| = m_1 \cdot c \cdot (\theta_f - \theta_1) \quad \text{Calor recebido por } m_1$$

$$|Q_2| = m_2 \cdot c \cdot (\theta_2 - \theta_f) \quad \text{Calor perdido por } m_2$$

A diferença $\Delta Q = |Q_2| - |Q_1|$ corresponde à quantidade de calor absorvida pelo calorímetro. Calcule-a.

A variação de temperatura do calorímetro será dada por: $\Delta\theta = \theta_f - \theta_1$. Calcule-a.

A capacidade térmica do seu calorímetro será dada pela relação $C = \frac{\Delta Q}{\Delta\theta}$. Calcule-a.

Repita a experiência mais duas vezes e tire a média aritmética dos resultados. Assim, você obterá um resultado mais próximo do real, compensando eventuais erros cometidos nas determinações.

- Você considera esse valor de capacidade térmica do seu calorímetro alto ou baixo?
- Na determinação do calor específico de um corpo com esse calorímetro, sua capacidade térmica poderia ser desprezada? Por quê?



SÉRGIO DOTTA JÜRTHE NEXT

A FÍSICA EM NOSSO MUNDO

As calorias dos alimentos

Em nossa sociedade, grande parte da população preocupa-se com a aquisição ou manutenção de um corpo esguio ou “sarado”, como se costuma dizer. Com essa motivação, muitas pessoas procuram controlar a ingestão de alimentos, aderindo a vários tipos de dietas e regimes, alguns com promessas de perda rápida de peso. Além disso, a obesidade, sobretudo de crianças e adolescentes, é um problema grave de saúde pública em muitos países. Por essa razão, são muito comuns na mídia artigos e reportagens que se referem às calorias que esse ou aquele alimento pode fornecer ao organismo.

Os alimentos energéticos (carboidratos ou açúcares), após serem absorvidos, são “queimados” no processo de respiração celular, produzindo a energia indispensável ao funcionamento do organismo. Na verdade, essa “queima” corresponde a processos bioquímicos, em que ocorre a oxidação das moléculas orgânicas. Embora não envolva trocas de calor, no sentido considerado em nosso curso, a medida dessa “energia dos alimentos” costuma ser feita na unidade quilocaloria (kcal), que com frequência é chamada, impropriamente, de Caloria Alimentar e representada por Cal (com inicial maiúscula).

A ingestão em quantidade adequada dos alimentos energéticos (carboidratos) repõe a energia que o organismo consome — tanto nas atividades diárias como na manutenção dos processos vitais. Caso a ingestão seja exagerada, acima das necessidades normais, o organismo acumula os alimentos em excesso na forma de gordura, podendo fazer com que a pessoa fique obesa.

As gorduras e as proteínas em princípio não são alimentos energéticos. Entretanto, se houver falta de carboidratos, o organismo pode suprir a carência de energia lançando mão desses alimentos. Essa utilização pode comprometer o organismo, causando uma deficiência nutricional e problemas de saúde.

Atualmente, a legislação obriga as empresas a apresentarem, nos rótulos dos alimentos industrializados, informações nutricionais, incluindo a energia fornecida por uma porção predeterminada do alimento. Alguns restaurantes costumam, por iniciativa própria, colocar no cardápio a quantidade de calorias dos pratos oferecidos. Em muitas cidades, essa informação já é uma exigência legal.

A seguir, para efeito de comparação, apresentamos alguns dados referentes ao teor calórico de alimentos comuns em nossa dieta.

Arroz com feijão (2 colheres de sopa = 40 g).....	75 kcal
Arroz integral cozido (2 colheres de sopa = 20 g).....	44 kcal
Bife de carne magra de boi (1 unidade = 100 g).....	260 kcal
Filé de frango grelhado (1 unidade = 100 g).....	97 kcal
Pizza de muçarela (1 fatia = 140 g).....	331 kcal
Bacalhau cozido (1 posta = 100 g).....	100 kcal
Banana nanica (meia unidade = 100 g).....	95 kcal
Laranja-pera (1 unidade).....	43 kcal
Manga (1 unidade = 350 g).....	229 kcal
Biscoito sabor aveia e mel (1 unidade).....	29 kcal
Biscoito champanhe (1 unidade).....	44 kcal
Sorvete sabor creme (1 bola = 40 g).....	77 kcal
Sorvete <i>diet</i> sabor creme (1 bola = 40 g).....	38 kcal
Chocolate meio amargo (1 barra = 200 g).....	1.052 kcal
Chocolate ao leite (1 barra = 200 g).....	1.044 kcal
Chope (1 tulipa = 150 ml).....	90 kcal
Vinho tinto (1 taça = 100 ml).....	65 kcal

Fonte: http://batuquenacozinha.oi.com.br/nutricao_tabelakcal.php?ds_tema, acessado em 7 de outubro de 2009.



FERNANDO FAVORETTO/CID

Teste sua leitura

L.9 (Fuvest-SP) Um ser humano adulto e saudável consome, em média, uma potência de 120 J/s. Uma “caloria alimentar” (1 kcal) corresponde, aproximadamente, a 4×10^3 J. Para nos mantermos saudáveis, quantas “calorias alimentares” devemos utilizar, por dia, a partir dos alimentos que ingerimos?

- a) 33
- b) 120
- c) $2,6 \times 10^3$
- d) $4,0 \times 10^3$
- e) $4,8 \times 10^5$

L.10 (Faap-SP) Quantas calorias alimentares um atleta deve ingerir diariamente, sabendo-se que em suas atividades consome 1 kW?

(Dados: 1 caloria alimentar = 1 kcal; 1 cal = 4 J)

L.11 (Fuvest-SP) Pedro mantém uma dieta de 3.000 kcal diárias e toda essa energia é consumida por seu organismo a cada dia. Assim, ao final de um mês (30 dias), seu organismo pode ser considerado como equivalente a um aparelho elétrico que, nesse mês, tenha consumido:

- a) 50 kWh
- b) 80 kWh
- c) 100 kWh
- d) 175 kWh
- e) 225 kWh

(Dados: 1 kWh é a energia consumida em 1 hora por um equipamento que desenvolve uma potência de 1 kW; considere 1 cal = 4 J)

L.12 (UEL-PR) Ao consumir uma barra de chocolate de 100 g, o organismo humano recebe, em média, um acréscimo de 500 kcal (dado: 1 cal = 4,18 J). A velocidade que um automóvel de massa 836 kg deve ter para que sua energia cinética seja equivalente à energia ingerida com o consumo da barra de chocolate é aproximadamente:

- a) 10 km/h
- b) 25 km/h
- c) 70 km/h
- d) 120 km/h
- e) 250 km/h

L.13 (UFRN) Leopoldo foi ao supermercado comprar adoçante dietético. Ficou perplexo ao verificar que as informações energéticas escritas nos rótulos de dois desses produtos eram bastante contraditórias. A tabela a seguir resume essas informações energéticas.

Produto 1 Porção: 1 envelope		Produto 2 Porção: 1 gota	
Valor calórico	VDR*	Valor calórico	VDR
4 kcal	2.500 cal	0,007 kcal	2.000 kcal

O consumo diário habitual de qualquer um dos dois produtos, por um usuário destes, é de vários envelopes, ou gotas, por dia. As contradições que ele observou, portanto, foram:

- 1) o valor calórico citado para um envelope, no rótulo do produto 1, é maior que o VDR;
- 2) o VDR, no rótulo do produto 1, é muito menor que o VDR que consta no rótulo do produto 2.

Com o objetivo de esclarecer essas contradições, responda aos subitens abaixo.

- a) Considerando que Leopoldo, em um dia de trabalho, eleva de 2 metros de altura 1.000 sacos de cereais, e que a massa de cada saco é 60 kg, calcule o trabalho realizado por ele nesse dia para cumprir essa tarefa (use $g = 10 \text{ m/s}^2$ e $1 \text{ J} = 0,24 \text{ cal}$).
- b) Usando como referência o resultado obtido no subitem anterior, especifique qual dos produtos contém o valor correto do VDR em seu rótulo. Justifique sua resposta.

* Valor Diário de Referência (VDR): é o valor que representa a quantidade de calorias que deve ser ingerida por uma pessoa, de modo a suprir apropriadamente, sem excesso nem deficiência, suas necessidades energéticas durante 24 horas.

HISTÓRIA DA FÍSICA

A evolução do conceito de calor

O homem das cavernas, ao usar o fogo para se aquecer e cozinhar, foi provavelmente quem primeiro tentou entender o mistério do “calor”. Os filósofos gregos dos séculos VI, V e IV a.C., EMPÉDOCLES, ARISTÓTELES e outros, acreditavam que o fogo, ao lado da água, da terra e do ar, era um dos elementos formadores da natureza. Essa ideia sobreviveu por quase dois mil anos, incluindo-se nesse período os alquimistas, que admitiam ter o fogo um poder extraordinário para levá-los ao encontro da pedra filosofal e do elixir da longa vida.

Apenas em 1661, o químico irlandês ROBERT BOYLE (1627-1691), contemporâneo de Newton, em sua obra *O químico cético*, combateu as ideias dos alquimistas, emitindo com precisão o conceito de elemento químico. Entretanto, Boyle ainda incluía o fogo como um desses elementos.

Alguns anos depois, observando a combustão, GEORG ERNST STAHL (1660-1734), médico e químico, formulou a teoria do **flogístico**, que dominou a Química durante um bom tempo. Segundo ele, o flogístico era o princípio do fogo. Um corpo, ao ser aquecido, recebia flogístico; ao se resfriar, o corpo perdia flogístico.

JOSEPH PRIESTLEY (1733-1809), químico inglês, era liberal em política e religião, mas conservador em ciência, defendendo a teoria do flogístico. Entretanto, ao descobrir o oxigênio (que chamou de **ar deflogisticado**), permitiu ao notável químico francês ANTOINE-LAURENT LAVOISIER (1743-1794) derrubar definitivamente, em 1777, a teoria do flogístico, explicando a combustão como uma simples reação com o oxigênio.

Lavoisier introduziu o termo **calórico** para descrever o **elemento imponderável** responsável pelo aquecimento dos corpos, por algumas reações químicas e por outros fenômenos. Em colaboração com PIERRE-SIMON LAPLACE (1749-1827), fez importantes estudos sobre o calor liberado na combustão.

O físico e químico escocês JOSEPH BLACK (1728-1799), assim como Lavoisier, entendia o **fluido calórico** como uma substância que podia combinar-se quimicamente com a matéria. Segundo ele, quando entre o corpo e o calórico havia uma simples mistura, a temperatura aumentava, sendo perceptível a presença do calor: era o **calor sensível**. Quando o calórico se combinava quimicamente com a matéria, ele “desaparecia”, não produzindo variação de temperatura: era o **calor latente**. Um exemplo dessa “reação química” com o calor aconteceria nas mudanças de estado: gelo + calórico → água.

Apesar de suas ideias ainda estarem presas ao modelo da época (fluido calórico), Black teve o mérito de entender o calor como uma quantidade, definindo a unidade até hoje usada para medi-lo: a **caloria**. Introduziu ainda os importantes conceitos de **capacidade térmica** e **calor específico**.



SHEILA TERRY/SPL-LATINSTOCK

Black

A ideia de que pode haver conversão entre energia mecânica e calor nasceu com o engenheiro norte-americano BENJAMIM THOMPSON (1753-1814), o conde de Rumford, em 1799. Ao pesquisar a perfuração de canhões numa fábrica de armas na Baviera, Alemanha, ele percebeu que o aumento de temperatura do material perfurado só poderia provir da energia mecânica das brocas. Entretanto, a equivalência entre calor e energia mecânica foi determinada pelo físico e médico alemão JULIUS ROBERT von MAYER (1814-1878) em 1842 e, com maior precisão, pelo físico inglês JAMES PRESCOTT JOULE (1818-1889), em 1843. O relacionamento definitivo da energia térmica com a energia cinética das moléculas foi estabelecido em 1857 pelo físico alemão RUDOLF CLAUSIUS (1822-1888).

AKG-LATINSTOCK



▲ Mayer

SPL-LATINSTOCK



▲ Joule

BETTMAN/CORBIS-LATINSTOCK



▲ Clausius

Atividade experimental

Realize a experiência com supervisão do seu professor

Determinação da potência de uma fonte de calor

Coloque de 10 a 15 cubos de gelo retirados do congelador em um recipiente e espere cerca de 10 minutos, até que comecem a derreter. Nesse momento, vamos considerar sua temperatura igual a 0 °C.

Transfira os cubos de gelo para uma panela comum de alumínio e leve ao fogo (por exemplo, em um fogão), registrando com um cronômetro o intervalo de tempo Δt decorrido até o instante em que a água resultante da fusão do gelo comece a ferver. Vamos admitir que, nesse instante, a temperatura da água é 100 °C.



SÉRGIO DOTTA JR/CID



SÉRGIO DOTTA JR/CID

Desligue então a chama e espere a água esfriar (cerca de 5 minutos). Determine, com um frasco de volumetria (uma proveta graduada em mililitros, por exemplo), o volume de água. Considerando que a densidade da água é $d = 1,0 \text{ kg}/\ell$, determine a massa de água.

Sendo $L_f = 80 \text{ cal}/\text{g}$ o calor latente de fusão do gelo e $c = 1,0 \text{ cal}/\text{g} \cdot ^\circ\text{C}$ o calor específico da água líquida, calcule a quantidade de calor recebida pelo gelo ao se derreter ($Q_1 = m \cdot L_f$) e depois pela água resultante da fusão ($Q_2 = m \cdot c \cdot \Delta\theta$). A quantidade de calor total Q fornecida pela fonte ao gelo e depois à água será dada pela soma: $Q = Q_1 + Q_2$.

A potência Pot da fonte de calor pode ser expressa pela fórmula:

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

Com os valores de Q e Δt obtidos, determine a potência da fonte utilizada. Expresse o resultado em cal/min e em watts (considere $1 \text{ cal} = 4,18 \text{ J}$).

Enumere possíveis causas de erro no processo utilizado.

Atividade
experimental

Realize a experiência com supervisão do seu professor

Congelamento da água

Coloque água em um recipiente de plástico (por exemplo, uma garrafa vazia de refrigerante), preenchendo-o até a borda. Rosqueie bem a tampa e coloque o recipiente dentro do congelador de uma geladeira ou em um *freezer*.

Após duas ou três horas, retire o recipiente do compartimento refrigerado.

- Em que condições está o recipiente de plástico?
- Explique a ocorrência com base no comportamento da água ao congelar.
- O que aconteceria se você não preenchesse totalmente o recipiente com água antes de colocá-lo no congelador?
- A ocorrência ter-se-ia verificado da mesma maneira se o líquido fosse outro (álcool, éter etc.)? Explique.

Atividade experimental

Realize a experiência com supervisão do seu professor

Reproduzindo a experiência de Tyndall

Observe a foto da esquerda e reproduza a experiência do regelo: coloque um bloco de gelo a cerca de $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ apoiado sobre dois suportes de madeira, de modo que a parte central fique livre. Prenda pesos nas extremidades de um fio fino de arame e passe esse fio por sobre o bloco, deixando os pesos pendentes.

- Verifique se há alguma modificação visível na região do gelo atravessada pelo arame.
- Explique por que o fio atravessa o gelo e este permanece íntegro.
- Diz-se que o deslizamento de uma patinadora sobre o gelo é facilitado pelo fato de os patins terem pequena área de contato com o gelo. Explique por quê.



SÉRGIO DOTTÁ JR/CID



MIKE POWELL/ALLSPORT-GETTY IMAGES

Atividade experimental

Realize a experiência com supervisão do seu professor

Influência da pressão na ebulição da água

Coloque água até a metade em um tubo de ensaio. Segurando-o com uma pinça adequada, leve-o ao fogo e espere até que a água comece a ferver. Nesse momento, retire-o do fogo e tampe-o com uma rolha de borracha. Em seguida, inverta o tubo e coloque-o sob um filete de água fria de uma torneira. Observe que a água recomeça a ferver.



SÉRGIO DOTTA JR/CID



SÉRGIO DOTTA JR/CID

- Explique essa ocorrência com base na influência da pressão sobre o ponto de ebulição da água.
- É possível associar o ocorrido com a variação do ponto de ebulição da água em relação à altitude? Por quê?

Aqueça água num recipiente, mas não a deixe ferver. Retire um pouco dessa água com uma seringa comum de injeção. Em seguida, afaste a seringa do recipiente e, com o dedo, tampe o bico da seringa. Puxe o êmbolo. Observe que a água quente no interior da seringa começa a ferver.



SÉRGIO DOTTA JR/CID



SÉRGIO DOTTA JR/CID

- Explique a ocorrência com base na influência da pressão sobre o ponto de ebulição da água.
- Essa experiência pode ser invocada para explicar a variação do ponto de ebulição da água com a altitude? Por quê?

A FÍSICA EM NOSSO MUNDO

A sensação de calor e a umidade

A sensação de calor está intimamente ligada ao grau de umidade do ar. O limite ideal para o grau higrométrico está entre 50% e 70%. Nessa faixa, há uma evaporação eficiente do suor, de modo que a perda de calor pelo organismo é adequada para manter constante a temperatura corporal. Quando a umidade é alta, mesmo que a temperatura ambiente não chegue a alcançar um valor muito elevado, a sensação de calor é sufocante e opressiva: a velocidade de evaporação do suor é reduzida, devido à grande quantidade de vapor existente na atmosfera.

Por outro lado, quando a umidade relativa é muito baixa, há consequências ainda mais graves, não só para a população como também para o ambiente. Para as pessoas, há o ressecamento das mucosas, que pode causar complicações respiratórias, sangramento nasal, ressecamento da pele, irritação dos olhos etc. Esses sintomas se intensificam com a poluição atmosférica e com o grau de debilidade do indivíduo, sobretudo no caso de crianças e idosos. Pessoas com problemas reumáticos e respiratórios preexistentes podem ter seu quadro clínico agravado.

No ambiente, o ar seco facilita a manifestação da eletricidade estática, o que pode danificar equipamentos eletrônicos. Além disso, aumenta consideravelmente a possibilidade de incêndios em florestas e pastagens.

Segundo normas da Defesa Civil de vários estados e da Cetesb (agência ambiental paulista), caso a umidade relativa caia abaixo de 30%, são estabelecidos os estados de atenção, alerta e emergência, de acordo com os valores medidos. Nessas situações, há uma série de procedimentos a serem tomados pela população, apresentados no quadro a seguir.

- **Entre 20 e 30% – Estado de atenção**
Evitar exercícios físicos ao ar livre entre 11 e 15 horas. Umidificar o ambiente utilizando vaporizadores, toalhas molhadas, recipientes com água etc. Ingerir bastante água e/ou sucos, para evitar desidratação.
- **Entre 12 e 20% – Estado de alerta**
Além das recomendações do estado de atenção, devem ser suprimidos os exercícios físicos e trabalhos ao ar livre entre 10 e 16 horas. É recomendável o uso de soro fisiológico para os olhos e as narinas.
- **Abaixo de 12% – Estado de emergência**
Além das recomendações estabelecidas para os estados de atenção e de alerta, é determinante a interrupção de qualquer atividade ao ar livre entre 10 e 16 horas, como aulas de educação física, coleta de lixo, entrega de correspondência etc. Os ambientes internos devem ser mantidos continuamente umidificados, principalmente quartos de crianças e de pessoas doentes, tanto em casa como nos hospitais.

Portanto, é de grande importância a medida do grau higrométrico. Essa informação sempre está incluída nos boletins meteorológicos. A avaliação é feita por meio de aparelhos denominados **higrômetros**.

Existem higrômetros de diversos tipos. Um deles é o psicrômetro (foto 1), constituído de dois termômetros: o da esquerda (dito termômetro de bulbo seco) mede a temperatura do ambiente; o da direita (dito termômetro de bulbo úmido) tem o bulbo envolto por um pano embebido em água e indica uma temperatura menor, pois a evaporação do líquido retira calor de seu bulbo. Uma tabela previamente preparada fornece o grau higrométrico do ambiente, com base na diferença de temperatura entre os dois termômetros. Há higrômetros mais sofisticados (foto 2), que indicam diretamente num mostrador o valor do grau higrométrico (em porcentagem).

Existem outros dispositivos que apenas indicam se o ambiente está seco ou úmido, sem dar o valor do grau higrométrico: são ditos **higroscópios**. É o caso do galinho que muda de cor com a umidade do ar: quando rosado (foto 3), indica tempo úmido; quando azulado (foto 4), indica tempo seco. A mudança de coloração é determinada pela hidratação da substância de que é feito o galinho.



Teste sua leitura

L.14 (Unifesp) Considere uma área de floresta amazônica e uma área de caatinga de nosso país. Se, num dia de verão, a temperatura for exatamente a mesma nas duas regiões, $37\text{ }^{\circ}\text{C}$, e estivermos em áreas abertas, não sombreadas, teremos a sensação de sentir muito mais calor e de transpirar muito mais na floresta do que na caatinga. Considerando tais informações, responda.

- Qual é a principal função do suor em nosso corpo?
- Apesar de a temperatura ser a mesma nas duas áreas, explique por que a sensação de calor e de transpiração é mais intensa na região da floresta amazônica do que na caatinga.

L.15 (FMU/Fiam-Faam/Fisp-SP) Numa cidade como São Paulo, onde a umidade relativa do ar é bastante elevada, muitas vezes, mesmo a temperaturas relativamente baixas, $22\text{ }^{\circ}\text{C}$ por exemplo, sentimos um desconforto térmico (sensação de calor opressivo). Isso se dá porque:

- a pressão máxima de vapor independe da temperatura.
- a umidade relativa dificulta a evaporação do suor.
- o vapor de água contido no ar está muito denso.
- o vapor de água contido no ar fornece calor ao organismo.
- nenhuma das anteriores.

L.16 (Gesupa) O clima em Belém é caracterizado por temperaturas em torno de 30 °C e umidade relativa do ar em torno de 80%.

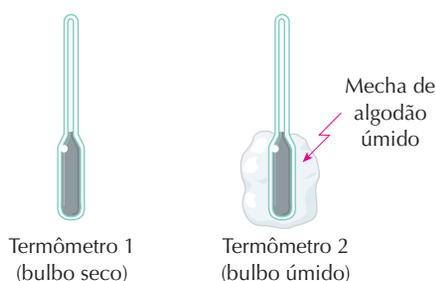
Julgue as afirmativas abaixo sobre algumas consequências da temperatura e da umidade relativa do ar nessa cidade.

- I. A sensação de calor de uma pessoa, que está associada à taxa de evaporação do suor, é menor em Belém do que em outra cidade à mesma temperatura e com menor umidade.
- II. Em um recinto fechado, a redução da temperatura ao anoitecer produz um aumento da umidade relativa do ar.
- III. Considerando recintos fechados com a mesma umidade relativa e temperaturas diferentes, o ambiente de maior temperatura possui maior quantidade de vapor-d'água no ar.
- IV. Ao se retirar uma lata de refrigerante da geladeira, ela fica mais molhada se a umidade relativa do ar for menor.

São verdadeiras apenas as afirmativas:

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

L.17 (UFJF-MG) A umidade relativa do ar pode ser avaliada por meio de medidas simultâneas da temperatura ambiente, obtidas usando dois termômetros diferentes. O primeiro termômetro é exposto diretamente ao ambiente, mas o segundo tem seu bulbo (onde fica armazenado o mercúrio) envolvido em algodão umedecido em água (veja a figura).



Nesse caso, podemos afirmar que:

- a) os dois termômetros indicarão sempre a mesma temperatura.
- b) o termômetro de bulbo seco indicará sempre uma temperatura mais baixa que o de bulbo úmido.
- c) o termômetro de bulbo úmido indicará uma temperatura mais alta que o de bulbo seco quando a umidade relativa do ar for alta.
- d) o termômetro de bulbo úmido indicará uma temperatura mais baixa que o de bulbo seco quando a umidade relativa do ar for baixa.



Atividade experimental

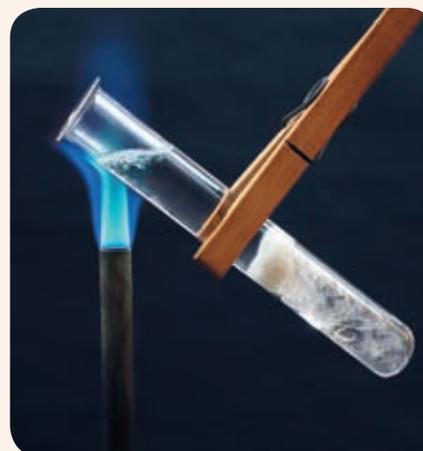
Realize a experiência com supervisão do seu professor

O gelo que não derrete

Coloque gelo e água num tubo de ensaio. Com o auxílio de uma tela ou de um pedaço de gaze, mantenha o gelo no fundo do recipiente.



SÉRGIO DOTTÀ JR/CID



SÉRGIO DOTTÀ JR/CID

Feito isso, segure o tubo com uma garra de madeira e aqueça-o, com cuidado, num bico de gás, do modo representado na foto.

Verifique que, após algum tempo, a água da parte superior começa a ferver e o gelo no fundo permanece sem derreter.

- Por que, apesar de o sistema estar recebendo calor, o gelo não derrete?
- O que aconteceria nesse experimento se o gelo não fosse mantido no fundo do tubo?

A FÍSICA EM NOSSO MUNDO

Efeito estufa e aquecimento global

Muito se tem falado de efeito estufa e de aquecimento global. Inicialmente, porém, há que se fazer uma distinção importante: o efeito estufa é um fenômeno natural e muito importante para a preservação da vida na Terra, tal como a conhecemos. Esse fenômeno gera no ambiente terrestre condições adequadas para que nós e os outros seres vivos possamos sobreviver. Entretanto, por ação do ser humano, o efeito estufa está se intensificando e é exatamente essa intensificação que está causando o aquecimento global — fenômeno que poderá tornar a Terra um lugar inóspito e inadequado para a vida.

É incontestável que as temperaturas do planeta estão subindo. Entre as consequências estão o aumento do nível do mar, que ameaça avançar sobre o litoral em várias partes do mundo, além de menor número de dias frios, noites mais quentes, ondas de calor letais, enchentes, chuvas pesadas, secas devastadoras e um aumento na força de tempestades e furacões, principalmente no Oceano Atlântico. Por isso, várias alternativas têm sido pensadas na tentativa de conter o aquecimento global. A ação mais urgente é o estabelecimento de metas para diminuir as emissões de gases-estufa na atmosfera. Essa foi a ideia que norteou a elaboração do Protocolo de Kyoto — um acordo internacional que, embora tenha recebido a assinatura da maioria das nações, não teve o aval dos Estados Unidos, responsáveis pelas maiores emissões de CO₂ no planeta.

Dando continuidade a essas iniciativas, renomados cientistas de todo o mundo, de várias áreas do saber, e funcionários de governos, com o patrocínio da ONU, se reuniram em Paris, em janeiro de 2007, no Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática (IPCC, na sigla em inglês), a fim de estabelecer fundamentações técnicas e científicas para as negociações acerca das mudanças climáticas. Ao final de seus trabalhos, o IPCC editou um relatório informando sobre a rapidez com que o mundo está esquentando e se a culpa é efetivamente das atividades humanas. Esse relatório visa influenciar a política dos governos e de empresas para o combate à intensificação do efeito estufa.

O alerta do comitê científico internacional, que analisou detidamente o problema, é direto e contundente, oferecendo uma visão sombria do estado atual do meio ambiente e fazendo previsões ainda mais preocupantes. De acordo com palavras textuais de um dos cientistas redatores, “não pode mais haver questionamento de que o aumento nos gases do efeito estufa é determinado pelas atividades humanas”.

Apesar de a situação já ser ruim, o comitê afirma que os efeitos durante o século XXI “serão, muito provavelmente, maiores que os observados durante o século XX”.



Leito seco do Rio Soledade, em Cabaceiras (PB).



Enchente no bairro de Campos Elíseos, em São Paulo (SP), após fortes chuvas.

Previsões sombrias

O comitê considera que pode haver uma elevação de temperatura de 1,1 °C a 6,4 °C até 2100. Essa faixa de variação é maior que a do relatório anterior, de 2001. No que diz respeito ao nível do mar, o relatório projeta elevações de 18 a 58 centímetros. Mas essa faixa pode ser ampliada em mais 10 a 20 centímetros, se o derretimento do gelo polar continuar a acontecer.

Muitos cientistas temem que o relatório, dado o tom pessimista, leve os políticos a uma interpretação equivocada da mensagem e simplesmente desistam de fazer algo a respeito. De qualquer modo, a opinião predominante é que urge reduzir as emissões e, ao mesmo tempo, adaptar as populações a um mundo mais quente, e com um clima mais irregular. “A questão aqui é destacar o que acontecerá se não fizermos nada e o que acontecerá se fizermos algo”, segundo um dos cientistas participantes. “Posso dizer que, se decidirmos não fazer nada, os impactos serão muito maiores do que se fizermos alguma coisa”.

O que fazer

Muitas propostas têm sido apresentadas para resolver o problema. Algumas delas somente são exequíveis a longo prazo e a custos estratosféricos. Eis algumas: enterrar os gases tóxicos produzidos por indústrias e usinas termelétricas; colocar refletores de calor em órbita; espalhar enxofre na atmosfera, para bloquear os raios solares que chegam à Terra; espalhar limalha de ferro no oceano para aumentar a proliferação do fitoplâncton que absorve o CO₂. E por aí vai. Entretanto, há medidas menos custosas que podem ser tomadas de imediato.

Embora a curto prazo seja difícil alterar de modo rápido e eficiente o uso de combustíveis

fósseis como fonte de energia, parece claro que a mudança da matriz energética, para que a emissão dos gases-estufa diminua, é indispensável. A utilização de energias alternativas, como a solar, a eólica, a nuclear e a produzida pelos biocombustíveis, seria uma saída. Existe, por exemplo, uma proposta de substituir 300 usinas termelétricas atualmente em planejamento em todo o mundo por usinas nucleares. No entanto, a discussão sobre o uso da energia nuclear é acalorada e divide muitos países, como a França, interessada no incremento do número de usinas, e a Alemanha, que pretende eliminar tais usinas de seu território. Um dos pontos básicos de tal celeuma é o lixo radioativo resultante do processo, que ainda não tem uma forma segura de descarte.

Mas existem outras soluções em andamento, como o uso mais consciente da energia pela população, evitando desperdícios. A inspeção veicular, para controlar a emissão de gases pelos veículos automotores, é uma medida que se impõe. Outra ação que poderá ter resultado satisfatório é o **sequestro de carbono** nas atividades de manejo florestal e no reflorestamento. Ele consiste basicamente em plantar novas matas intensamente, para que os vegetais, durante o seu crescimento, absorvam o CO₂ da atmosfera e o transformem em biomassa. Florestas já desenvolvidas não fazem isso, pois há um equilíbrio entre o CO₂ absorvido durante a fotossíntese e o CO₂ eliminado na respiração.

Em resumo, existem iniciativas a serem tomadas para enfrentar o problema e dessas iniciativas todos devemos participar, pois só o esforço conjunto poderá levar a resultados positivos. Usando a metáfora do incêndio florestal, cada um de nós deve dar sua contribuição, como o passarinho levando água no bico para apagar o fogo da floresta.



JONNE RORIZ/Æ



MARCO SIMONI/ROBERT HARDING/GETTY IMAGES

Teste sua leitura

L.18 (PUC-RJ) A maior parte da energia usada hoje no planeta é proveniente da queima de combustíveis fósseis. O protocolo de Kyoto, acordo internacional que inclui a redução da emissão de CO₂ e de outros gases, demonstra a grande preocupação atual com o meio ambiente. O excesso de queima de combustíveis fósseis pode ter como consequências:

- maior produção de chuvas ácidas e aumento da camada de ozônio.
- aumento do efeito estufa e dos níveis dos oceanos.
- maior resfriamento global e aumento dos níveis dos oceanos.
- destruição da camada de ozônio e diminuição do efeito estufa.
- maior resfriamento global e aumento da incidência de câncer de pele.

L.19 (UEPG-PR) O filme *O dia depois de amanhã* retrata uma catástrofe climática na Terra, ocasionada pelo aquecimento global. Sobre esse assunto e do ponto de vista físico, assinale o que for correto.

- A energia solar chega ao planeta através do fenômeno conhecido como condução térmica.
- O efeito estufa é um fenômeno que mantém a temperatura média da Terra constante.
- A retenção de energia térmica pela atmosfera é conhecida como efeito estufa.
- Quando se alerta sobre os riscos relacionados com o efeito estufa, o que está em foco é sua intensificação e, conseqüentemente, a alteração climática do planeta.
- O efeito estufa é imprescindível à manutenção da vida sobre a Terra.
- O aquecimento global provocará condensação dos vapores de água da atmosfera, o que tornará o planeta totalmente árido.

Dê como resposta a soma dos números que precedem as afirmativas corretas.

L.20 (UnB-DF) “Deixar florestas crescerem em terrenos de fazendas abandonadas e em áreas de exploração florestal pode provocar uma diminuição de gases-estufa na atmosfera, já que, à medida que as árvores crescem, elas consomem grandes quantidades de gás carbônico. Estima-se que 6 bilhões de toneladas de CO₂ sejam lançadas na atmosfera a cada ano, mas que apenas de 3 a 4 bilhões de toneladas fiquem acumuladas na atmosfera. Esse fato sugere que grandes áreas de cobertura vegetal em crescimento extraem uma grande parte do carbono lançado na atmosfera.”

Folha de S. Paulo, 12/11/2000 (com adaptações).

Considerando o texto acima, julgue os itens seguintes.

- Entre outros agentes, os gases-estufa são responsáveis pelo aquecimento global do planeta.
- Parte do CO₂ lançado na atmosfera é proveniente da queima de combustíveis fósseis como o petróleo e o carvão.
- A camada de CO₂ na atmosfera atua como um filtro para as radiações ultravioleta vindas do Sol.
- Os gases-estufa refletem as radiações infravermelhas provenientes tanto do Sol quanto da superfície terrestre.
- O texto argumenta que é vantajoso, do ponto de vista da diminuição do CO₂ na atmosfera, fazer reflorestamentos.

Dê como resposta a soma dos números que precedem as afirmações verdadeiras.

L.21 (Unifesp) O grande aquecimento global verificado nos últimos 25 anos aponta o homem como o principal responsável pelas mudanças climáticas observadas no planeta atualmente. Sobre esse assunto, é correto afirmar que:

- os principais agentes do aquecimento global são o aumento de CO₂ e de gases contendo enxofre liberados diariamente. A quantidade de vapor-d'água atmosférico, que em princípio poderia também influenciar, não tem apresentado grandes alterações a longo prazo, pelas próprias características que possui o ciclo da água no planeta.
- a destruição da camada de ozônio pelo uso continuado de CFCs (clorofluorcarbonos) é apontada, juntamente com o aumento da liberação de CO₂ por combustíveis fósseis, como um dos principais agentes promotores do aquecimento global.
- poeira e pequenas partículas em suspensão eliminadas com a poluição configuram-se, juntamente com o vapor-d'água misturado ao enxofre, como os principais responsáveis pelo efeito estufa desregulado, que aumenta o aquecimento no planeta.
- a contenção do uso de combustíveis fósseis e o controle da liberação de gás metano por material em decomposição e pelos lixões das áreas urbanas são apontados como fatores importantes para deter o aumento do aquecimento global.
- o excesso de CO₂ liberado e o aquecimento global por ele provocado inibem, a longo prazo, a expansão das florestas. Além disso, o aumento das queimadas libera mais CO₂ e deixa vastas áreas descobertas, piorando o efeito estufa desregulado.

I.22 (UFJF-MG)**“Nova York pode afundar, diz Greenpeace**

No ano 2080, Manhattan e Xangai poderão estar debaixo d’água, secas e enchentes serão mais extremas e centenas de milhões de pessoas estarão em risco de fome, falta de água e doenças.”

(Folha de S.Paulo, 28/10/2002, página A12)

Essa previsão, apresentada pela ONG Greenpeace, caso os países não reduzam a emissão de gases que provocam o efeito estufa, consiste no:

- a) aquecimento global da Terra, provocado pelo aumento da concentração de gases, como o gás carbônico e o óxido nitroso.
- b) aquecimento global da Terra, provocado pelo aumento do buraco na camada de ozônio, que filtra os raios ultravioleta.
- c) derretimento das calotas polares, provocado pela desertificação e pelas queimadas, que liberam anidrido sulfuroso e monóxido de carbono.
- d) aquecimento global da Terra, provocado pelos gases liberados na queima de carvão e petróleo, como os clorofluorcarbonos (CFCs).
- e) aquecimento global da Terra, provocado pelo aumento da camada de gases como metano e ozônio, liberados pelas atividades industriais.

CONTEÚDO DIGITAL - UNIDADE C

Animações



A experiência de Joule

Física 2 > Parte 1 > Unidade C > Cap. 4

A animação reproduz o experimento de James P. Joule, que demonstra como a energia mecânica pode se transformar em energia térmica.



Diagrama de fases

Física 2 > Parte 1 > Unidade C > Cap. 6

A animação explica o diagrama de fases, demonstrando como temperatura e pressão determinam a fase em que uma substância se encontra e definindo o ponto triplo, em que as três fases coexistem.

Vídeos de experimento



Calor sensível e calor latente: introdução

Física 2 > Parte 1 > Unidade C > Cap. 4

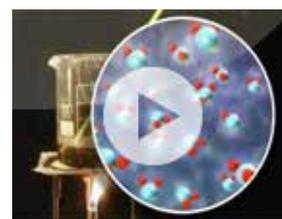
A partir de exemplos, o vídeo define o que é calor e como ocorre a troca de energia entre corpos com temperaturas diferentes. Além disso, apresenta alguns pontos abordados no experimento.



Calor sensível e calor latente: experimento

Física 2 > Parte 1 > Unidade C > Cap. 4

Utilizando dois béqueres – um somente com água e outro com gelo e água em equilíbrio térmico – e uma fonte de calor, o vídeo demonstra o que ocorre com a temperatura da água em diferentes situações de aquecimento.



Calor sensível e calor latente: conclusão

Física 2 > Parte 1 > Unidade C > Cap. 4

A partir de experimentos com dois béqueres – um somente com água e outro com gelo e água em equilíbrio térmico – e uma fonte de calor, o vídeo explica e exemplifica os conceitos de calor sensível e calor latente.