



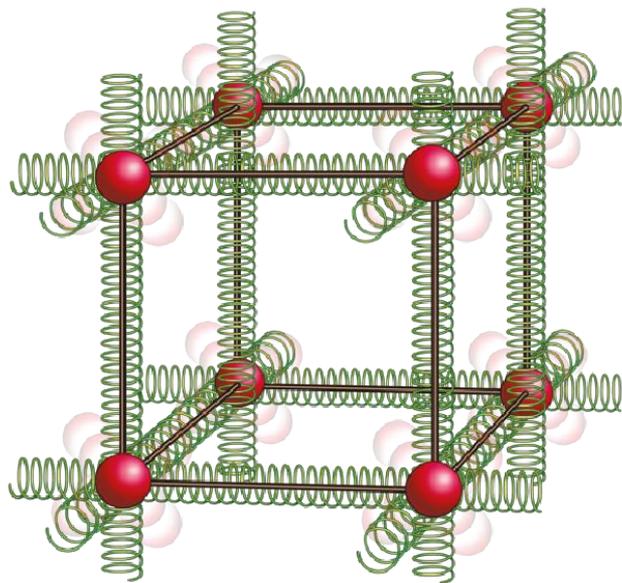
# Calorimetria

# Calorimetria

## Conceito de calor

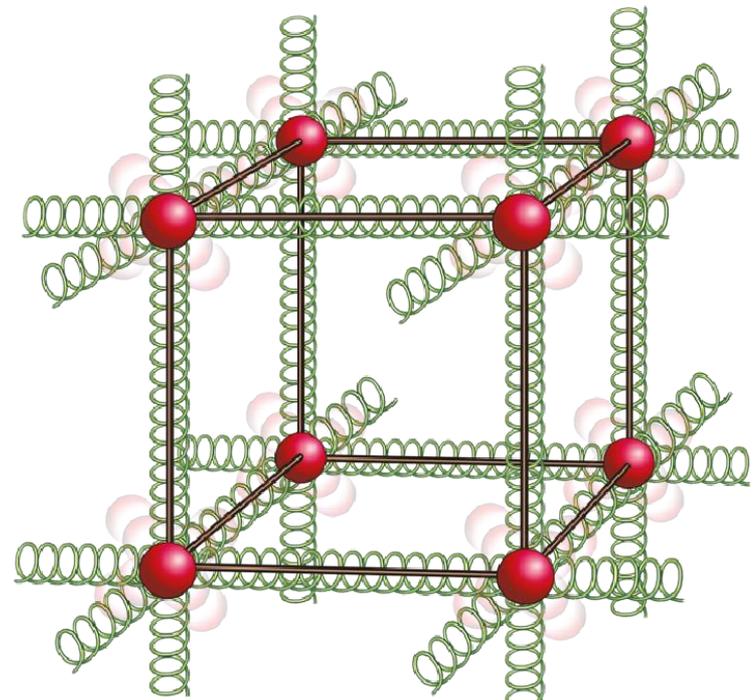
Já sabemos que a temperatura de um corpo está relacionada à agitação das partículas que o constituem.

# Calorimetria



Temperatura  $\theta_0$

Aquecimento



Temperatura  $\theta > \theta_0$

Maior temperatura  $\Rightarrow$

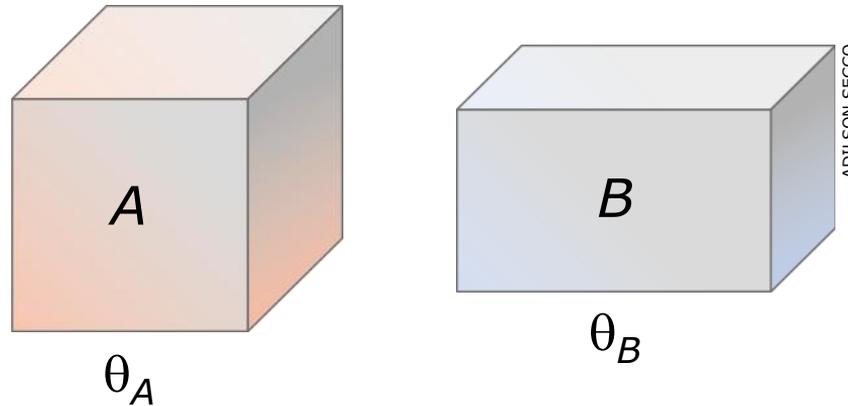
Maior agitação  $\Rightarrow$

Maior energia térmica

# Calorimetria

## Conceito de calor

Vamos considerar os corpos  $A$  e  $B$ , a seguir, com temperaturas iniciais  $\theta_A$  e  $\theta_B$  ( $\theta_B < \theta_A$ ).

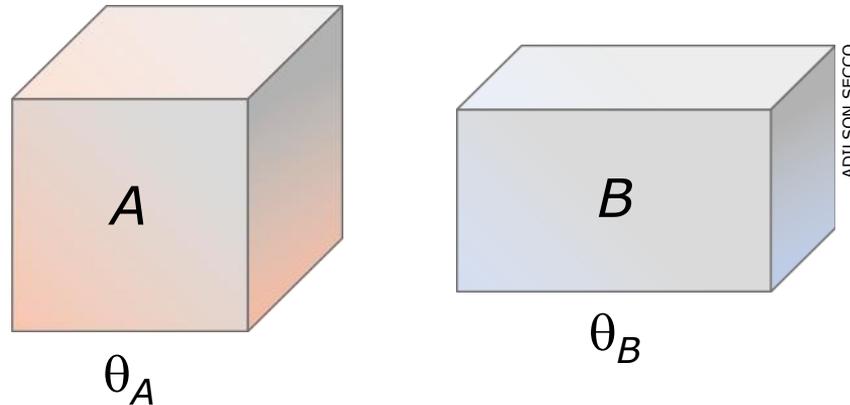


# Calorimetria

## Conceito de calor

De início, o corpo *A* está “mais quente” que o corpo *B*.

Assim, a energia térmica do corpo *A* é maior que a energia térmica do corpo *B*.



# Calorimetria

## Conceito de calor

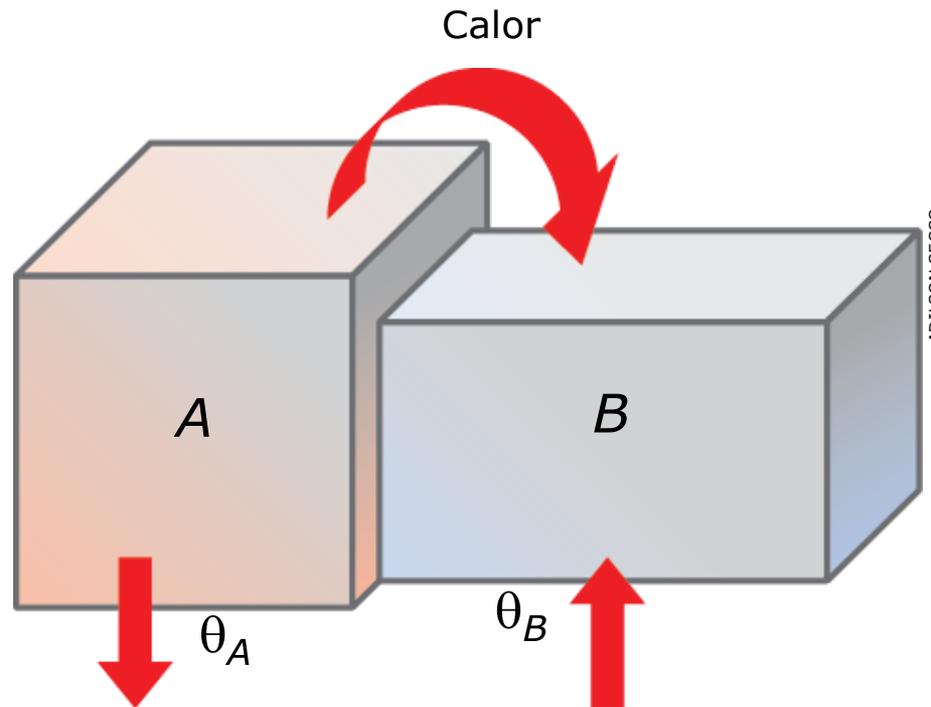
O que acontece se  $A$  e  $B$  são colocados em contato um com o outro?

Espontaneamente, parte da energia térmica do corpo  $A$  é transferida para o corpo  $B$ .

À medida que a temperatura do corpo  $A$  diminui, a temperatura de  $B$  aumenta.

# Calorimetria

## Conceito de calor



No instante em que as temperaturas de A e B se igualam, dizemos que esses corpos atingiram o **equilíbrio térmico**.

# Calorimetria

## Conceito de calor

O fluxo de energia térmica de  $A$  para  $B$  é interrompido e ambos os corpos ficam à mesma temperatura  $\theta_f$ .

Essa energia transferida de  $A$  para  $B$  é denominada **calor**.

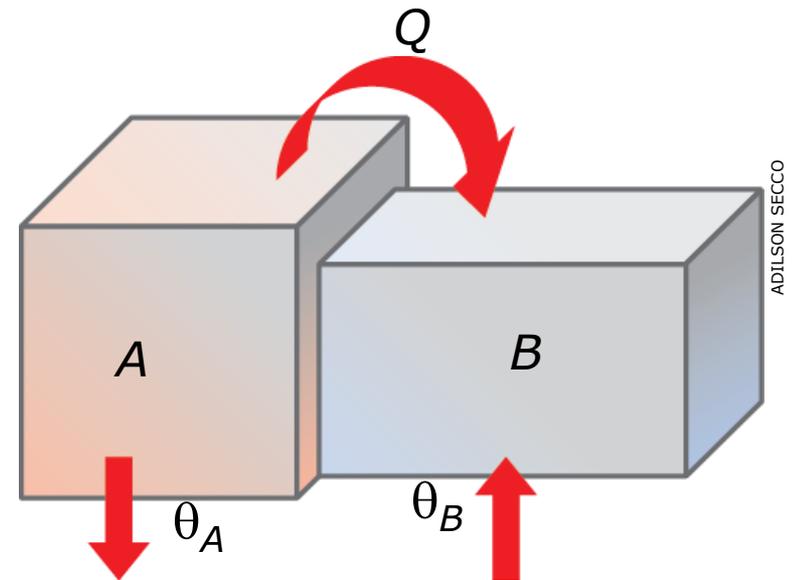
Portanto:

Calor é energia térmica **em trânsito** entre corpos a temperaturas diferentes.

# Calorimetria

## Conceito de calor

Para avaliar o calor transferido de  $A$  para  $B$  usaremos, a partir de agora, a grandeza quantidade de calor, representada por  $Q$ .



# Calorimetria

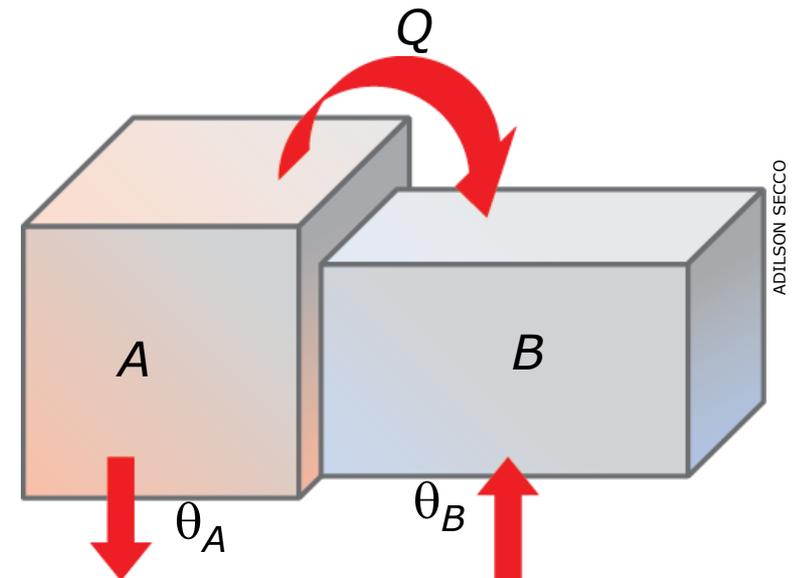
## Conceito de calor

No SI, a quantidade de calor, assim como a energia, é medida em joule (J).

Entretanto, é mais comum medir a quantidade de calor em caloria (cal) ou quilocaloria (kcal).

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

$$1 \text{ kcal} = 1.000 \text{ cal}$$



# Calor sensível e calor latente

Dizemos que um corpo é constituído por uma substância pura se todas as suas moléculas são quimicamente iguais. Assim, uma porção de água destilada (constituída apenas por moléculas de  $H_2O$ ) ou uma barra de cobre (formada apenas por átomos de cobre) são corpos constituídos por substâncias puras.

# Calor sensível e calor latente

As substâncias puras possuem ponto de fusão e ponto de ebulição constantes e bem definidos.

Para a água, por exemplo:

$\theta_{\text{fusão}} = 0 \text{ }^{\circ}\text{C}$  (Passagem do estado sólido para o estado líquido)

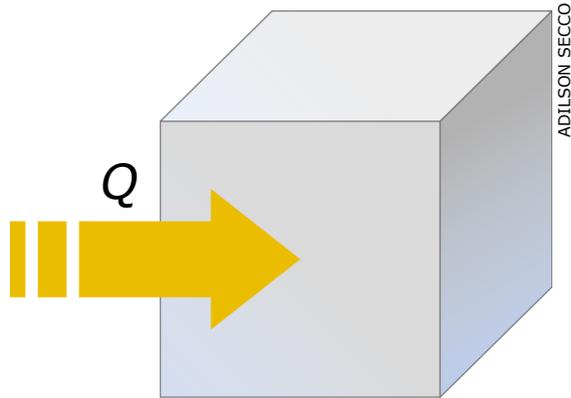
$\theta_{\text{ebulição}} = 100 \text{ }^{\circ}\text{C}$  (Passagem do estado líquido para o estado gasoso)

# Calor sensível e calor latente

Ao receber ou ao ceder calor, um corpo pode sofrer uma variação de temperatura ou uma mudança de estado físico. Entretanto, nos corpos constituídos por substâncias puras, esses dois efeitos nunca ocorrem simultaneamente.

# Calor sensível e calor latente

Ou seja:



A quantidade de calor  $Q$  provoca uma variação de temperatura  $\Delta\theta$ .

ou

A quantidade de calor  $Q$  provoca uma variação de estado físico.

# Calor sensível e calor latente

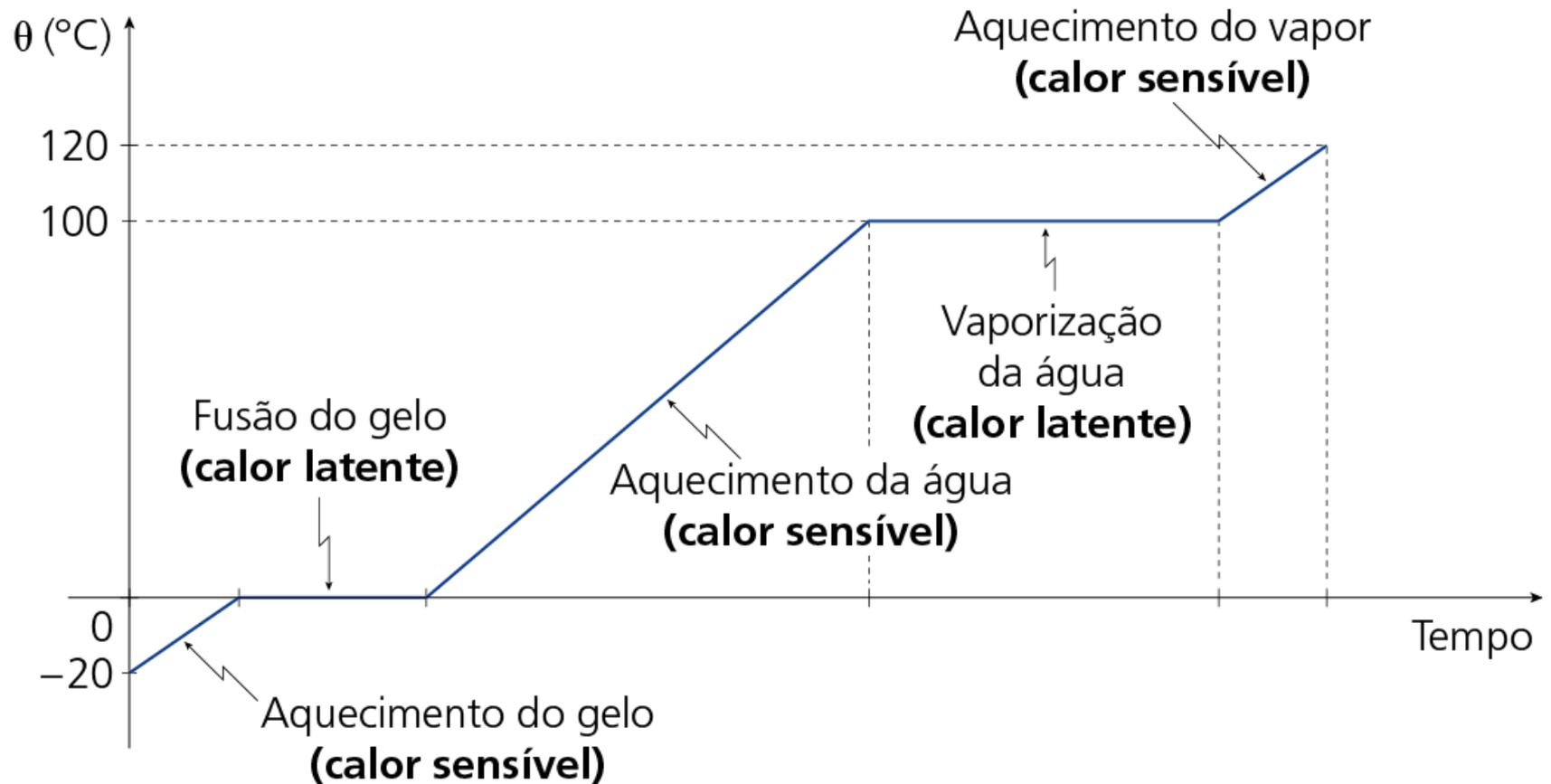
O calor que provoca uma variação de temperatura é denominado **calor sensível**.

O calor que provoca uma mudança de estado físico é denominado **calor latente**.

# Calor sensível e calor latente

Para uma dada quantidade de gelo, inicialmente a  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , poderíamos ter a curva de aquecimento a seguir:

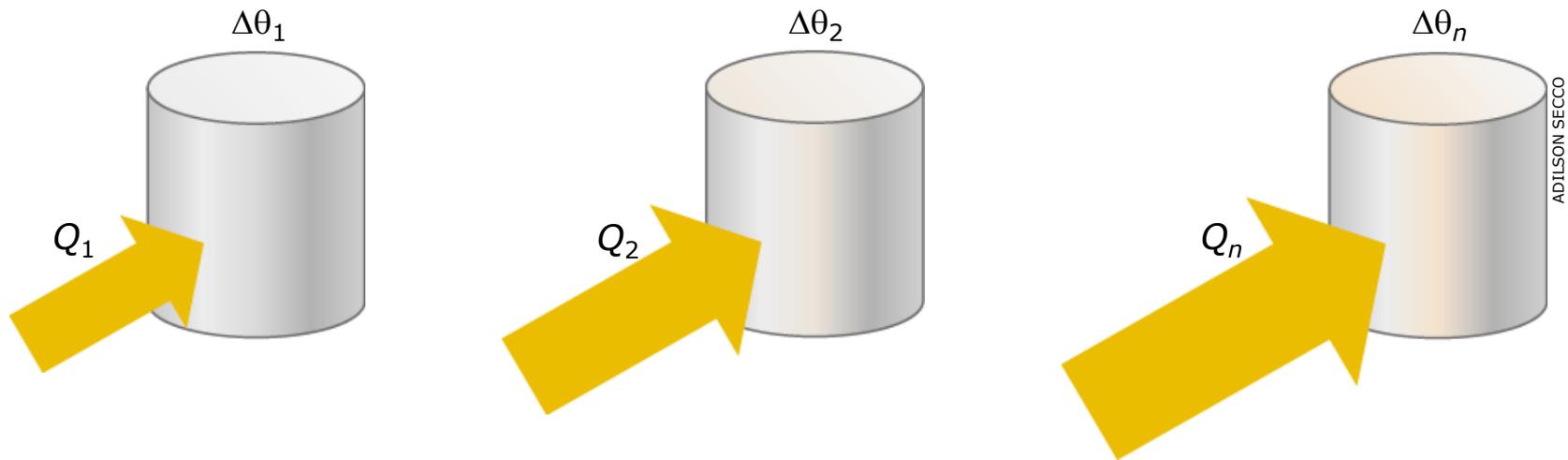
# Calor sensível e calor latente



O diagrama **não** está em escala.

# Capacidade térmica

Vamos considerar um dado corpo ao qual fornecemos quantidades diferentes de calor,  $Q_1, Q_2, \dots, Q_n$ .



Admitindo que o corpo não sofra mudança de estado físico, a cada quantidade de calor fornecida a ele corresponde uma variação de temperatura  $\Delta\theta_1, \Delta\theta_2, \dots, \Delta\theta_n$ .

# Capacidade térmica

Portanto, quanto maior a quantidade de calor  $Q$  recebida pelo corpo, maior a variação de temperatura  $\Delta\theta$  sofrida por ele.

Podemos, então, definir uma nova grandeza física associada ao corpo e representada por  $C$ , a **capacidade térmica** do corpo.

# Capacidade térmica

Por definição:

A capacidade térmica de um corpo indica a quantidade de calor que esse corpo deve receber (ou ceder) para sofrer uma variação unitária de temperatura.

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

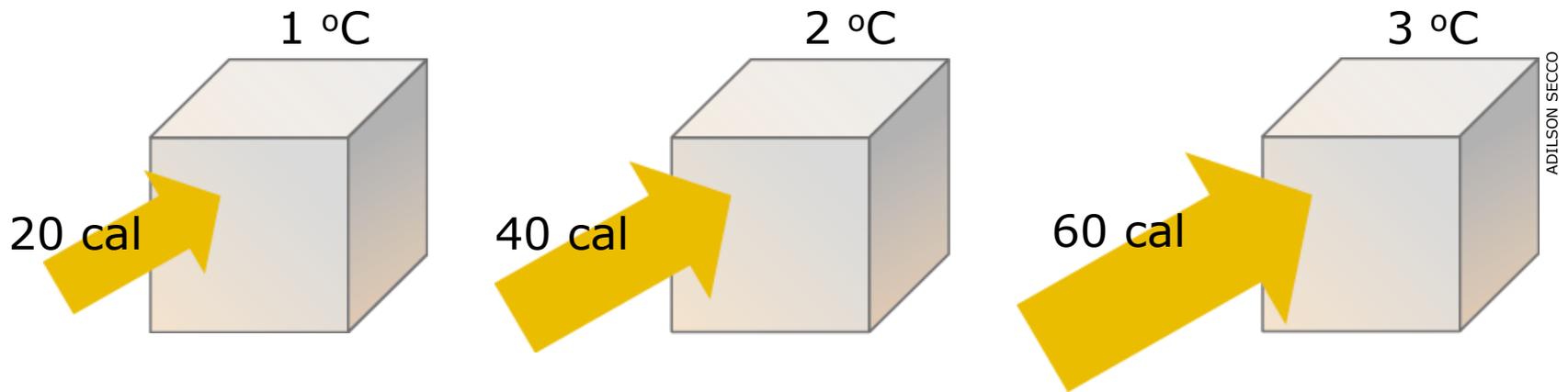
The diagram illustrates the units for the thermal capacity formula  $C = \frac{Q}{\Delta\theta}$ . Red arrows point from the variables to their units:  $C$  is labeled as  $\text{cal}/^{\circ}\text{C}$ ,  $Q$  is labeled as  $\text{cal}$ , and  $\Delta\theta$  is labeled as  $^{\circ}\text{C}$ .

# Capacidade térmica

Dizer, por exemplo, que a capacidade térmica de certo corpo é de  $20 \text{ cal/}^\circ\text{C}$  significa dizer que ele deve receber (ou ceder)  $20 \text{ cal}$  para sua temperatura aumentar (ou diminuir) em  $1 \text{ }^\circ\text{C}$ .

# Capacidade térmica

Então: 



Porém, caso se retirasse calor do corpo, sua temperatura diminuiria.

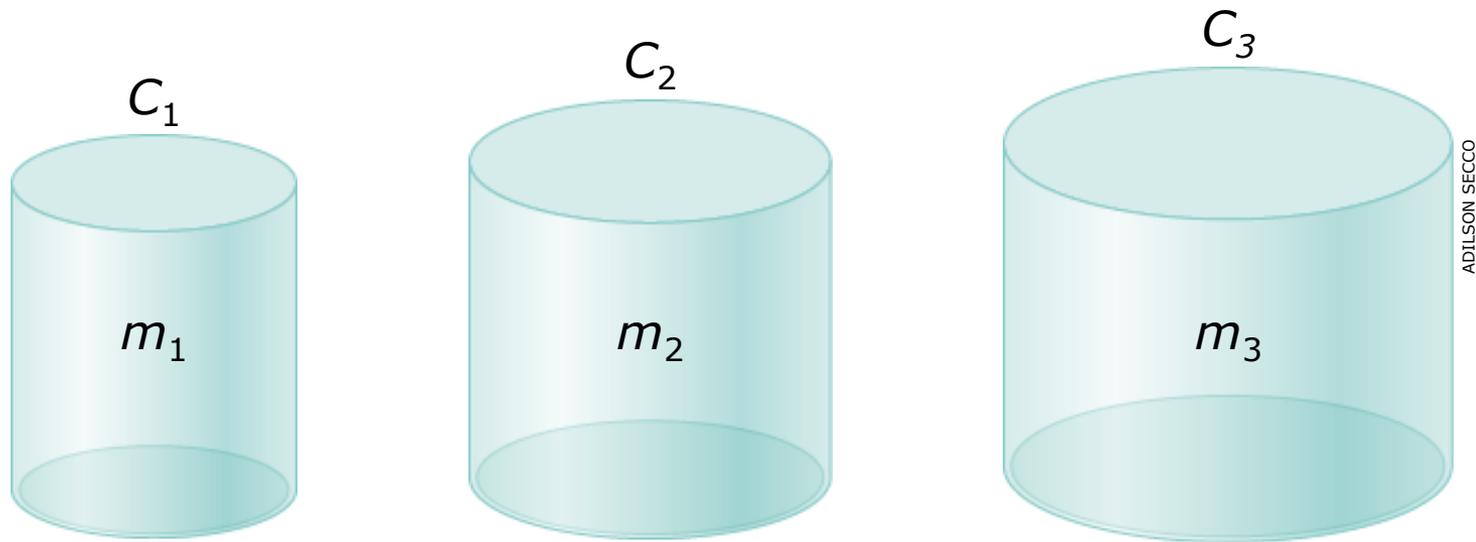
# Calor específico

Já definimos a grandeza física capacidade térmica  $C$  de um corpo.

Mas do que depende o valor dessa capacidade térmica?

Para fazermos tal investigação, vamos considerar corpos com massas diferentes, porém constituídos de um mesmo material: água, por exemplo.

# Calor específico



Podemos perceber que, para provocar a mesma variação de temperatura nesses corpos, o corpo de maior massa deverá receber maior quantidade de calor.

# Calor específico

Assim, o corpo de maior capacidade térmica  $C$  é, também, o corpo de maior massa  $m$ . Logo,

$$C \propto m$$

Podemos escrever:

$$C = m \cdot c$$

→ constante de proporcionalidade

Essa constante de proporcionalidade, que representamos por  $c$ , é o **calor específico do material** do corpo.

# Calor específico

$$C = m \cdot c$$

Diagram illustrating the units for the equation  $C = m \cdot c$ :

- $C$  (Calor) is associated with the unit  $\text{cal}/^{\circ}\text{C}$ .
- $m$  (mass) is associated with the unit  $\text{g}$ .
- $c$  (calor específico) is associated with the unit  $\frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot ^{\circ}\text{C}}$ .

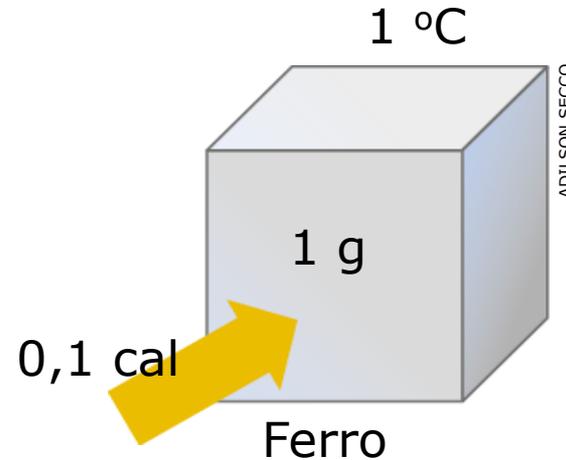
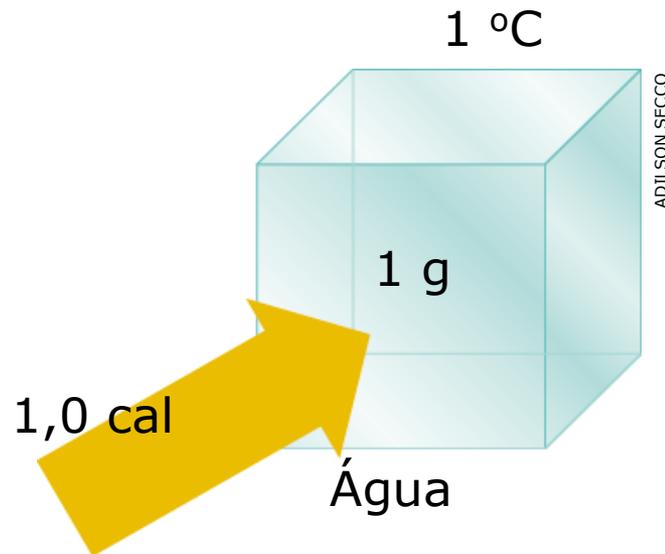
O calor específico de um material indica a quantidade de calor que uma massa unitária desse material deve receber (ou ceder) para sofrer uma variação unitária de temperatura.

# Calor específico

O que significa dizer, por exemplo, que o calor específico da água líquida é de  $1,0 \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}}$ ? Ou que o do ferro é de  $0,1 \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}}$ ?

Vamos analisar essas informações com cuidado.

# Calor específico



Observe que, para sofrer a mesma variação de temperatura, massas iguais de água e de ferro devem receber quantidades de calor diferentes. A água deve receber dez vezes mais calor do que o ferro.

# Equação fundamental da calorimetria

Já definimos a grandeza física capacidade térmica  $C$  de um corpo:

$$C = \frac{Q}{\Delta\theta} \Rightarrow Q = C \cdot \Delta\theta \text{ (I)}$$

Definimos também o calor específico  $c$  de um material, tal que:

$$C = m \cdot c \text{ (II)}$$

Substituindo II em I, resulta:

$$Q = C \cdot \Delta\theta$$

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta$$

Diagram illustrating the units of the equation  $Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta$ . Red arrows point from the variables to their respective units:

- $Q$  (cal)
- $m$  (g)
- $c$  ( $\frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}}$ )
- $\Delta\theta$  ( $^\circ\text{C}$ )

(Equação fundamental da calorimetria)

# Equação fundamental da calorimetria

Analisemos agora o sinal da quantidade de calor  $Q$ .

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta$$

Grandeza sempre positiva

Grandeza sempre positiva

Por esse motivo, o sinal de  $Q$  depende apenas do sinal de  $\Delta\theta$ .

# Equação fundamental da calorimetria

$\Delta\theta$  positivo ( $\Delta\theta > 0$ ) indica aumento de temperatura.

Assim:

$$\overset{+}{Q} = m \cdot c \cdot \overset{+}{\Delta\theta}$$

Calor recebido é positivo.

$\Delta\theta$  negativo ( $\Delta\theta < 0$ ) indica diminuição de temperatura.

Assim:

$$\overset{-}{Q} = m \cdot c \cdot \overset{-}{\Delta\theta}$$

Calor cedido é negativo.

# Princípio geral das trocas de calor

O que acontece quando juntamos dois ou mais corpos inicialmente a temperaturas diferentes?

Vamos juntar esses corpos em um recipiente, que denominaremos **calorímetro**, por hipótese **ideal** e **adiabático**.

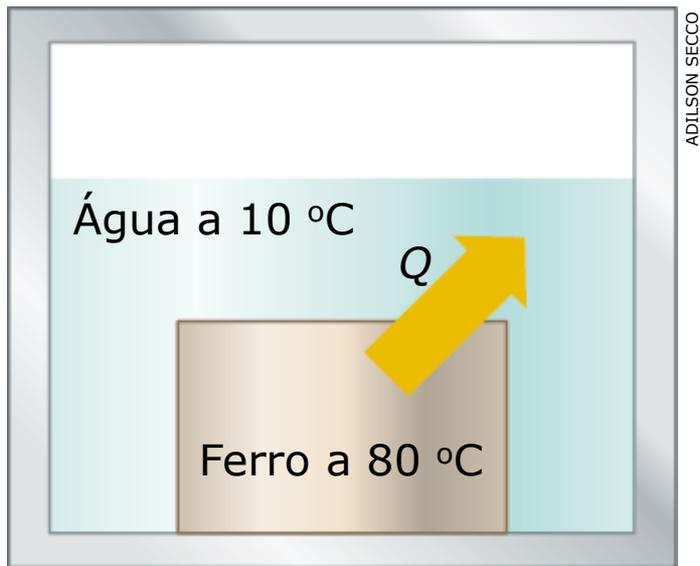
# Princípio geral das trocas de calor

**Calorímetro:** recipiente no qual são realizadas trocas de calor.

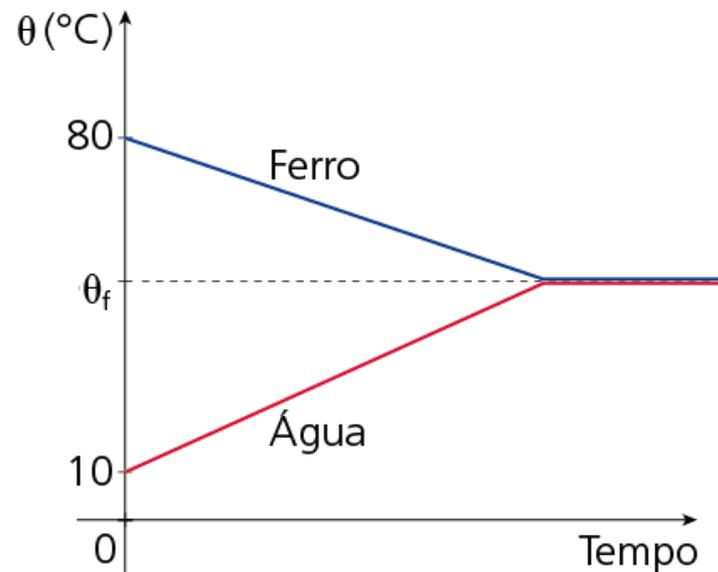
**Calorímetro ideal:** calorímetro cuja capacidade térmica é desprezível  $\left(C_{\text{ideal}} = 0 \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}}\right)$ ; desse modo, ele pode variar sua temperatura praticamente sem receber ou ceder calor.

# Princípio geral das trocas de calor

**Calorímetro adiabático:** calorímetro cujas paredes não permitem a passagem de calor, seja de dentro para fora, seja de fora para dentro.



Calorímetro ideal adiabático



# Princípio geral das trocas de calor

Levando-se em conta as características do calorímetro e o princípio da conservação da energia, obtemos:

$$Q_{\text{água}} + Q_{\text{ferro}} = 0$$

Generalizando:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_n = 0$$

**(Princípio geral das trocas de calor)**

## **ANOTAÇÕES EM AULA**

**Coordenação editorial:** Juliane Matsubara Barroso

**Elaboração de originais:** Carlos Magno A. Torres, Nicolau Gilberto Ferraro, Paulo Cesar M. Penteado

**Edição de texto:** Eugênio Dalle Olle, Fabio Ferreira Rodrigues, Fernando Savoia Gonzalez, João Batista Silva dos Santos, Livia Santa Clara de Azevedo Ferreira, Lucas Maduar Carvalho Mota, Luiz Alberto de Paula e Silvana Sausmikat Fortes

**Preparação de texto:** Silvana Cobucci Leite

**Coordenação de produção:** Maria José Tanbellini

**Iconografia:** Daniela Baraúna, Érika Freitas, Fabio Yoshihito Matsuura, Flávia Aline de Moraes e Monica de Souza

**Diagramação:** Mamute Mídia

## **EDITORA MODERNA**

**Diretoria de Tecnologia Educacional**

**Editora executiva:** Kelly Mayumi Ishida

**Coordenadora editorial:** Ivonete Lucirio

**Editores:** Andre Jun e Natália Coltri Fernandes

**Assistentes editoriais:** Ciça Japiassu Reis e Renata Michelin

**Editor de arte:** Fabio Ventura

**Editor assistente de arte:** Eduardo Bertolini

**Assistentes de arte:** Ana Maria Totaro, Camila Castro e Valdeí Prazeres

**Revisores:** Antonio Carlos Marques, Diego Rezende e Ramiro Moraes Torres

© Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.  
Todos os direitos reservados.

## **EDITORA MODERNA**

Rua Padre Adelino, 758 – Belenzinho

São Paulo – SP – Brasil – CEP: 03303-904

Vendas e atendimento: Tel. (0\_\_11) 2602-5510

Fax (0\_\_11) 2790-1501

[www.moderna.com.br](http://www.moderna.com.br)

2012



# Mudanças de estado

# Mudanças de estado

## Estados físicos da matéria

A matéria pode se apresentar, basicamente, em três estados de agregação, também **chamados estados físicos** ou **fases**.

**Estado sólido**



Apresenta forma e volume bem definidos.

**Estado líquido**



Apresenta forma indefinida e volume bem definido.

**Estado gasoso**



Apresenta forma e volume indefinidos.

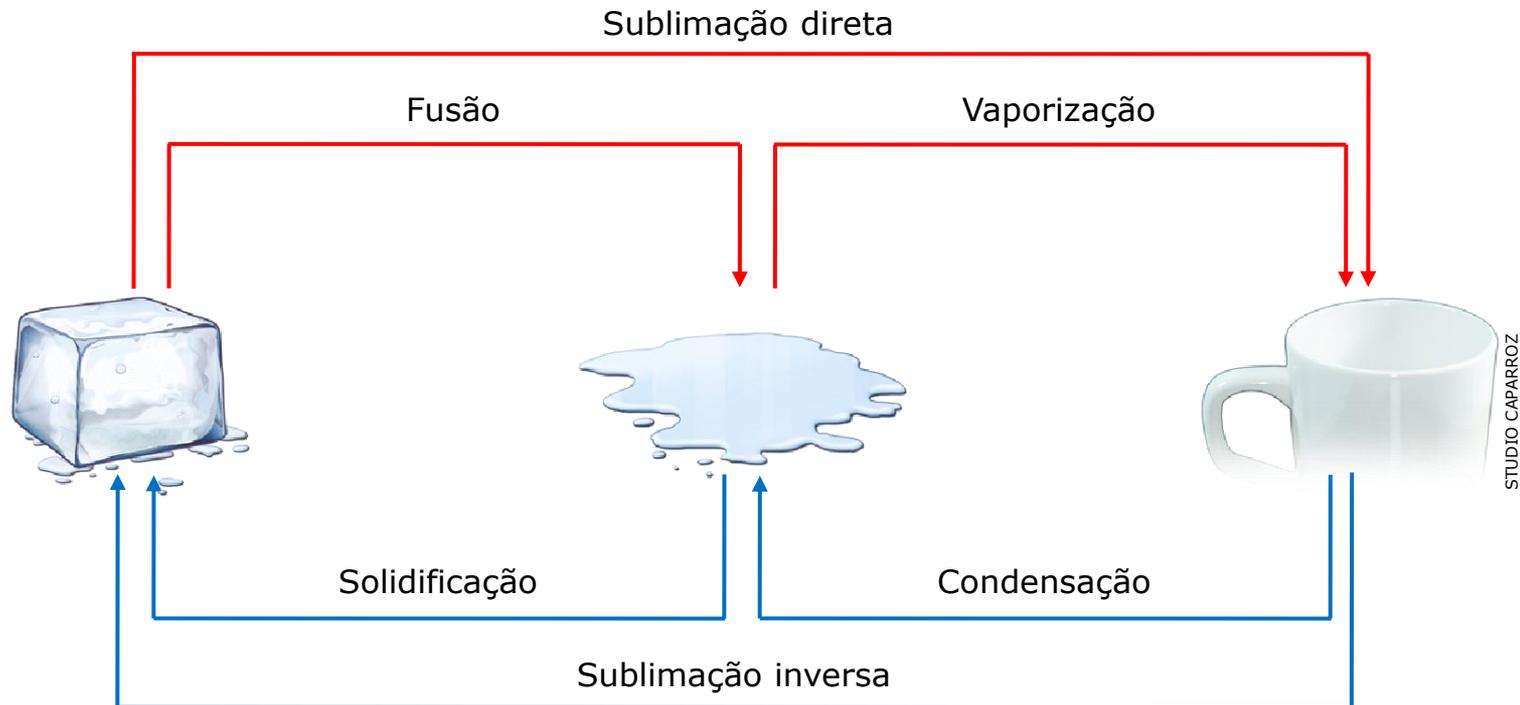
# Mudanças de estado

## Estados físicos da matéria

As mudanças de um estado para outro recebem nomes específicos.

# Mudanças de estado

## Estados físicos da matéria



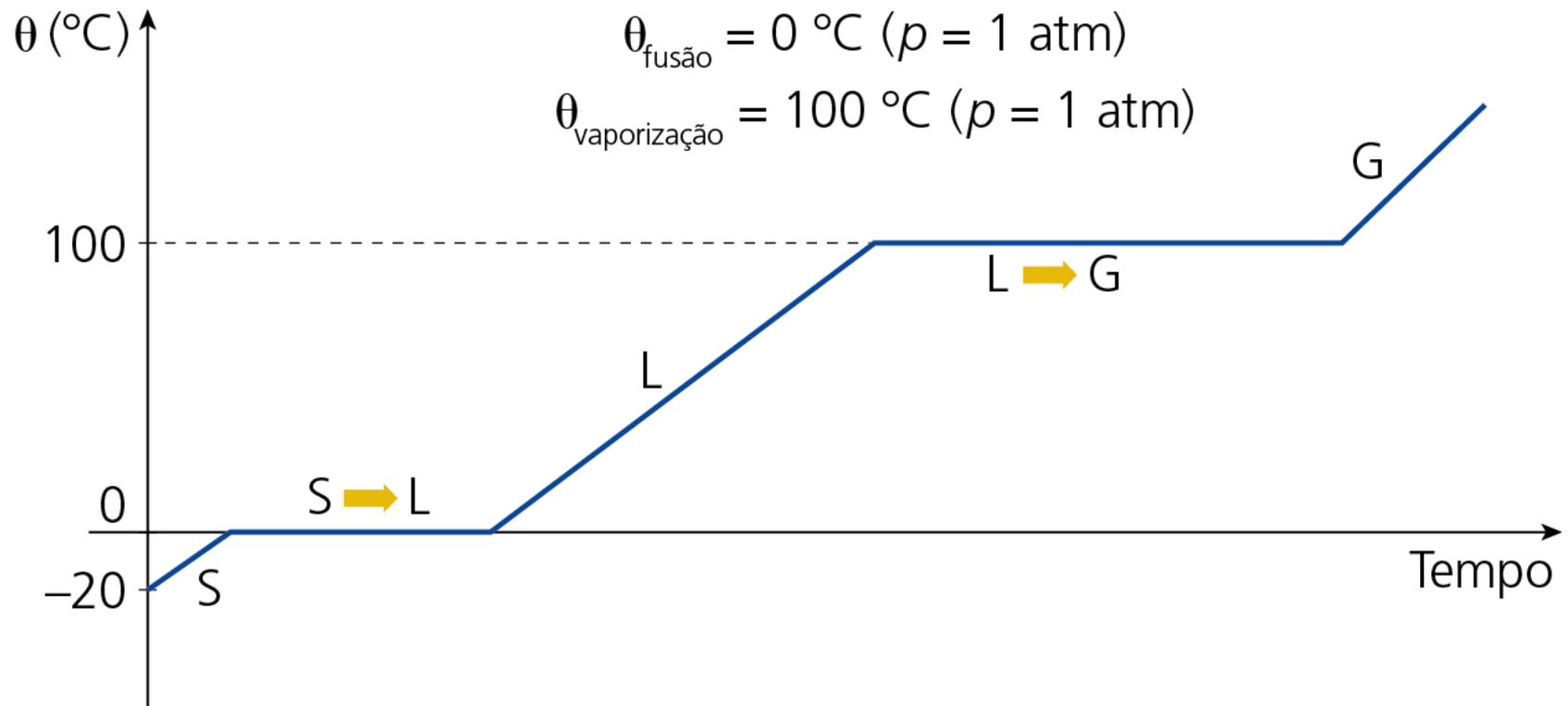
→ Mudanças que ocorrem com recebimento de calor

→ Mudanças que ocorrem com rejeição (perda) de calor

# Curvas de aquecimento e resfriamento de uma substância pura

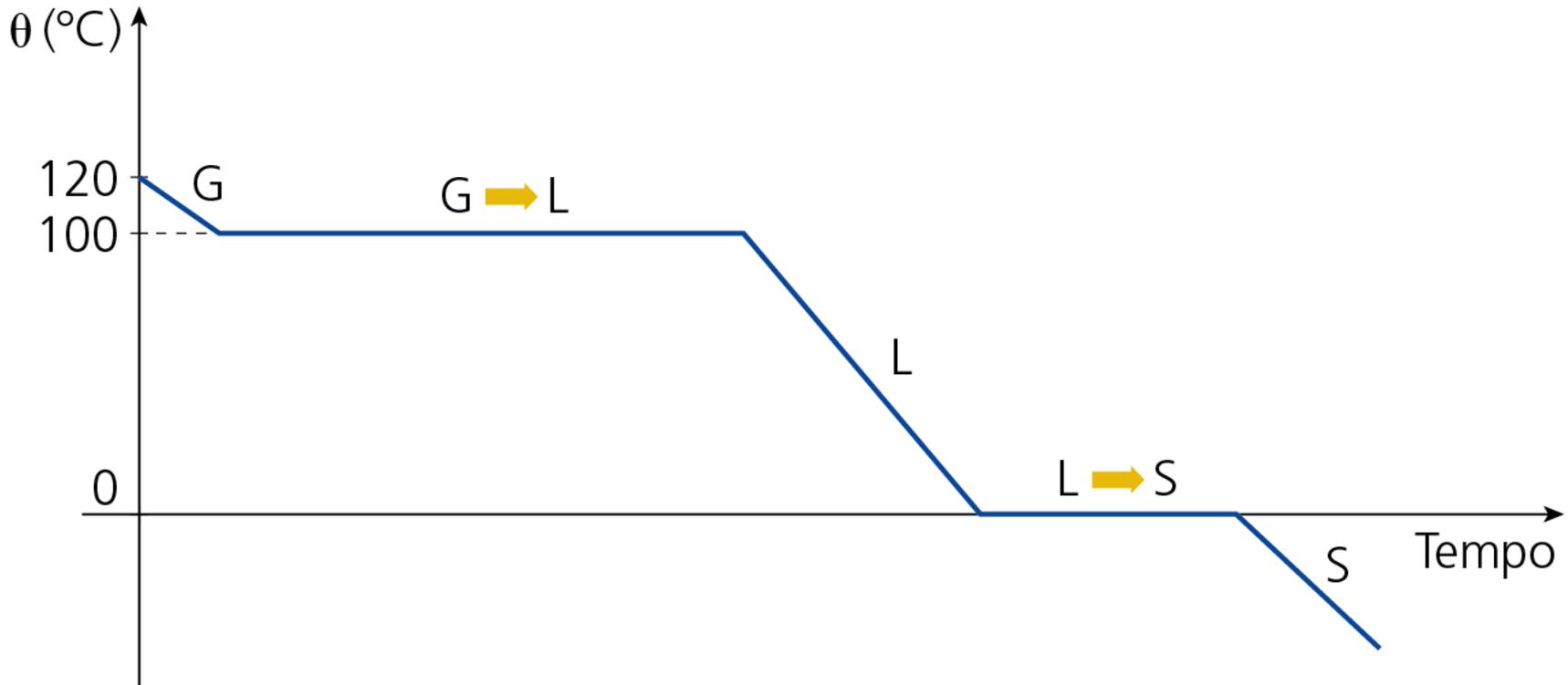
Para cada valor de pressão, as substâncias puras possuem ponto de fusão e ponto de ebulição constantes e definidos. Por exemplo, para a água, temos as seguintes curvas de aquecimento e resfriamento:

# Curvas de aquecimento e resfriamento de uma substância pura



Curva de aquecimento

# Curvas de aquecimento e resfriamento de uma substância pura



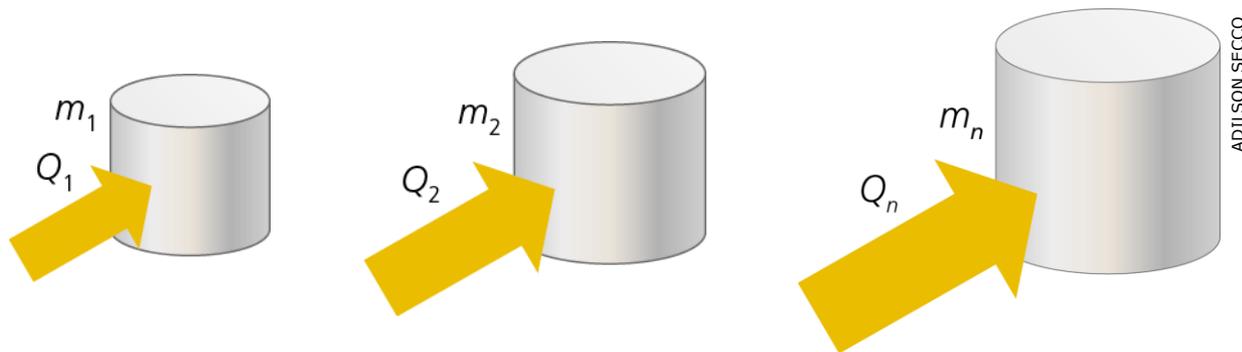
Curva de resfriamento

É importante ressaltar que as duas curvas apresentadas não foram desenhadas em escala.

# Calor latente

O calor que, recebido ou cedido por um corpo, provoca apenas a mudança de estado físico é chamado **calor latente**.

A quantidade de calor  $Q$  que provoca a mudança de estado físico de um material é diretamente proporcional à massa  $m$  que sofre a mudança de estado.



# Calor latente

Em linguagem matemática:

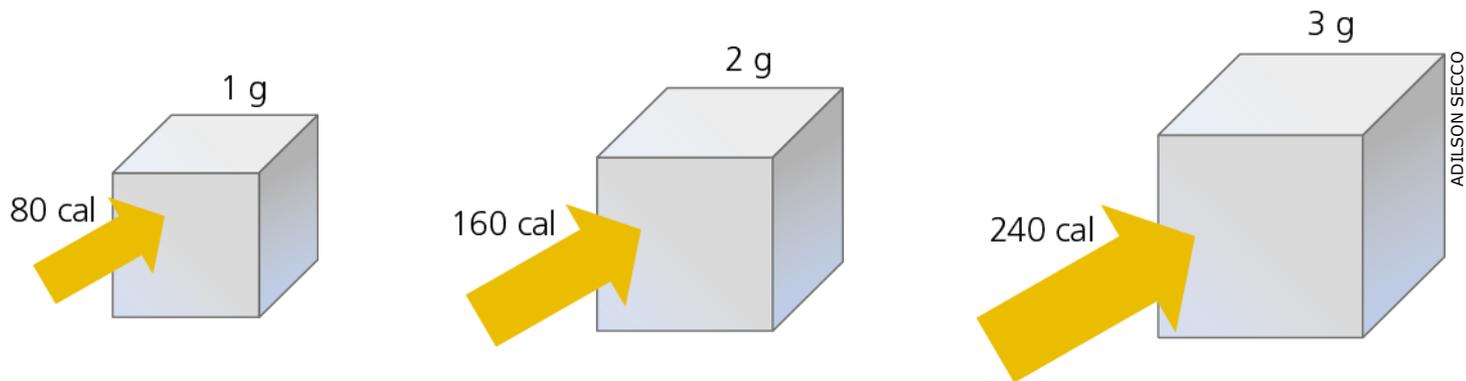
$$Q = m \cdot L$$

Na expressão acima, o coeficiente de proporcionalidade  $L$  é denominado **calor latente de mudança de estado do material**.

# Calor latente

Se dissermos, por exemplo, que o calor latente de fusão do gelo é 80 cal/g, significa que, para derreter 1 g de gelo, a 0 °C, é necessário fornecer 80 cal.

Então, se  $L_{\text{fusão(gelo)}} = 80 \text{ cal/g}$ , temos, para gelo a 0 °C:



# Trocas de calor com mudanças de estado físico

No capítulo anterior, vimos como aplicar o princípio geral das trocas de calor em situações em que ocorriam apenas variações de temperatura.

$$Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n = 0 \quad (\text{Princípio geral das trocas de calor})$$

# Trocas de calor com mudanças de estado físico

Vamos analisar agora como aplicar esse mesmo princípio em situações em que, além da variação de temperatura, ocorrem também mudanças de estado físico.

Vamos considerar uma situação bastante comum.

# Trocas de calor com mudanças de estado físico

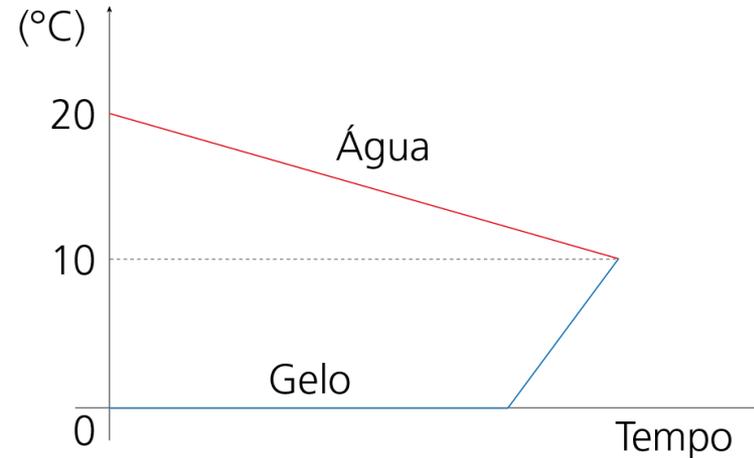
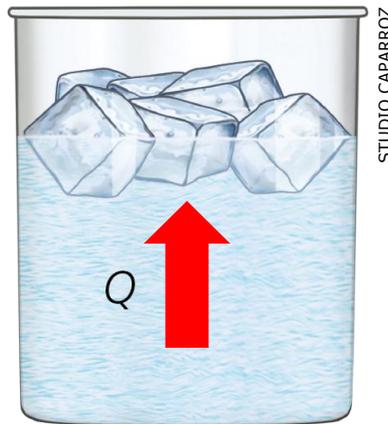
Um copo contém 300 g de água a 20 °C. Quantos gramas de gelo a 0 °C devemos colocar nessa água para que, no final, tenhamos apenas água a 10 °C?

Dados:

$$c_{\text{água}} = 1 \text{ cal}/(\text{g} \cdot ^\circ\text{C})$$

$$L_{f(\text{gelo})} = 80 \text{ cal/g}$$

# Trocas de calor com mudanças de estado físico



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

$$m_{\text{gelo}} \cdot 80 + m_{\text{gelo}} \cdot 1 \cdot (10 - 0) + 300 \cdot 1 \cdot (10 - 20) = 0$$

$$m_{\text{gelo}} \cdot 90 - 3.000 = 0 \Rightarrow m_{\text{gelo}} \approx 33,3 \text{ g}$$

# Diagrama de fases

O estado físico de uma substância depende da temperatura e da pressão a que a substância está submetida.

Assim, existem infinitos pares de valores de temperatura  $\theta$  e de pressão  $p$  que determinam se a substância está no estado sólido; outros infinitos pares  $(\theta, p)$  que determinam se ela está no estado líquido; e, ainda, mais infinitos pares  $(\theta, p)$  que determinam se ela está no estado gasoso.

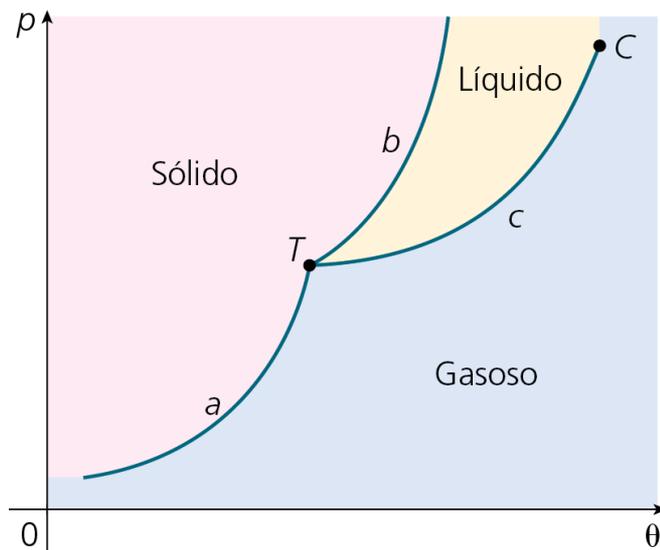
# Diagrama de fases

O conjunto de todos os pontos de temperatura  $\theta$  e de pressão  $p$  que mostra o correspondente estado físico da substância é denominado **diagrama de fases**.

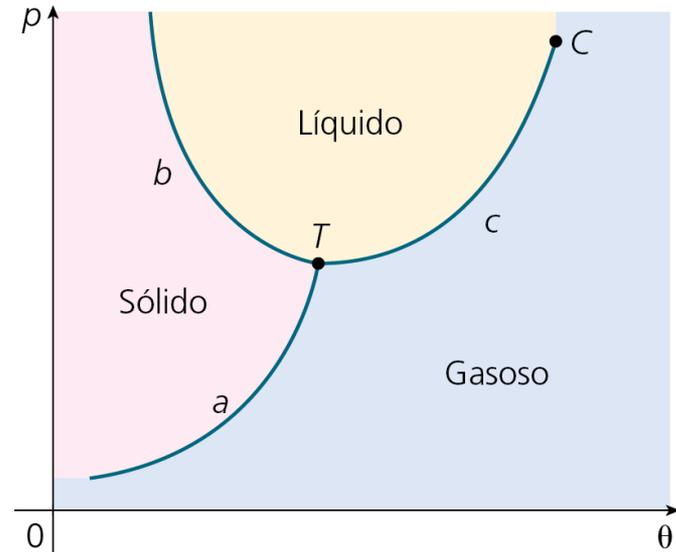
# Diagrama de fases

As figuras do *slide* seguinte mostram o diagrama de fases típico para a maioria das substâncias puras e o diagrama de fases para algumas exceções, como a água, o ferro, o bismuto e o antimônio.

# Diagrama de fases



Maioria das substâncias



ADILSON SECCO

Exceções

Curva  $a$ : Curva da sublimação-sublimação inversa

Curva  $b$ : Curva da fusão-solidificação

Curva  $c$ : Curva da vaporização-condensação

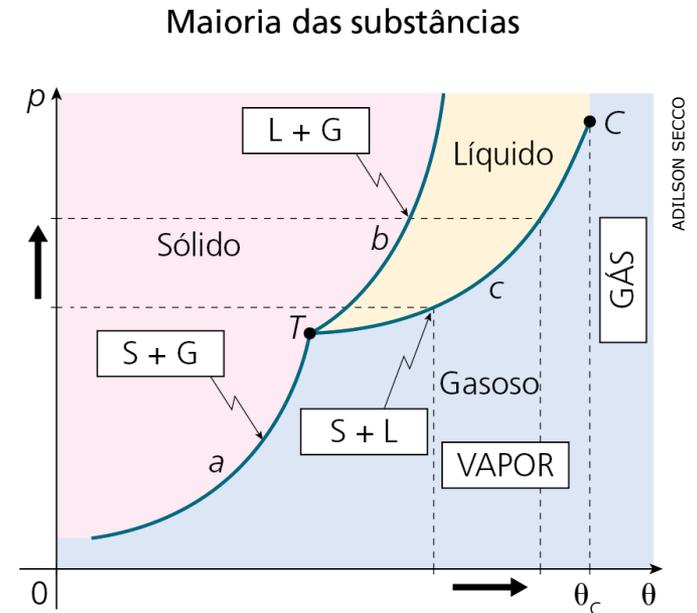
Ponto  $T$ : ponto triplo

Ponto  $C$ : ponto crítico

Vamos analisar cada um desses diagramas.

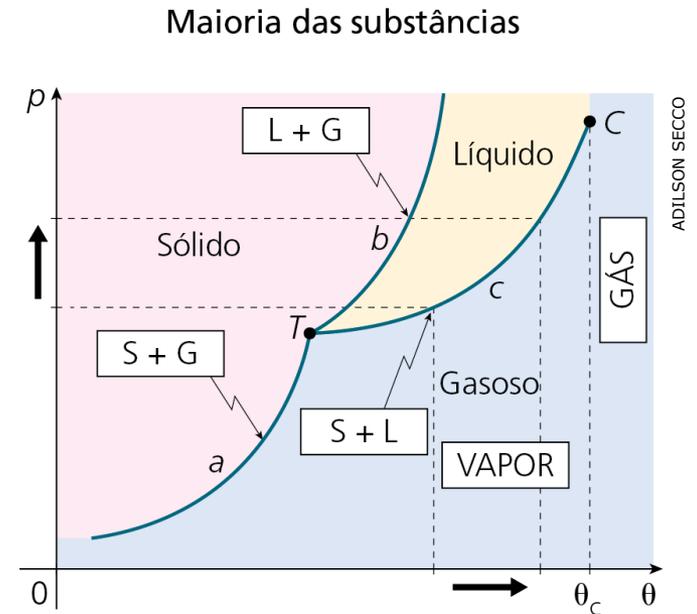
# Diagrama de fases

Um ponto sobre a curva (*a*, *b* ou *c*) indica a existência de duas fases simultaneamente. No ponto *T*, temos as três fases simultaneamente.



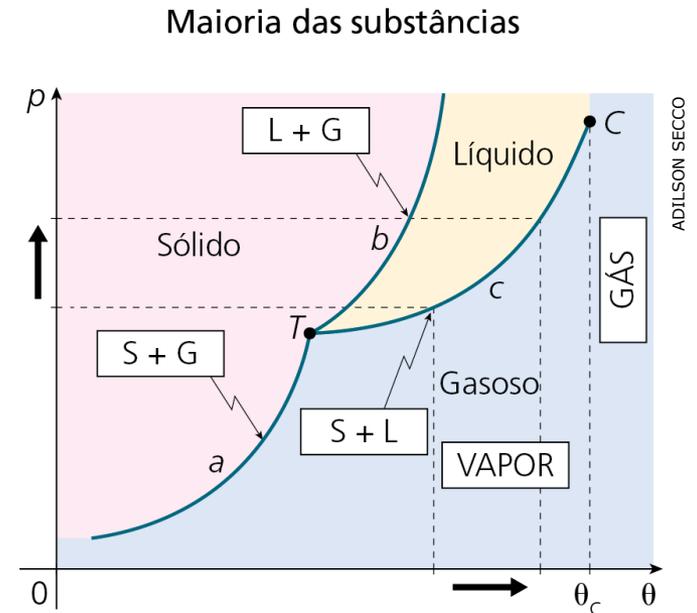
# Diagrama de fases

Um aumento da pressão exercida sobre a substância implica um aumento da temperatura de mudança de estado físico.



# Diagrama de fases

O ponto C define, para cada substância, uma temperatura crítica ( $\theta_c$ ), acima da qual a substância no estado gasoso é chamada **gás**. Abaixo da temperatura crítica, a substância no estado gasoso é chamada **vapor**.

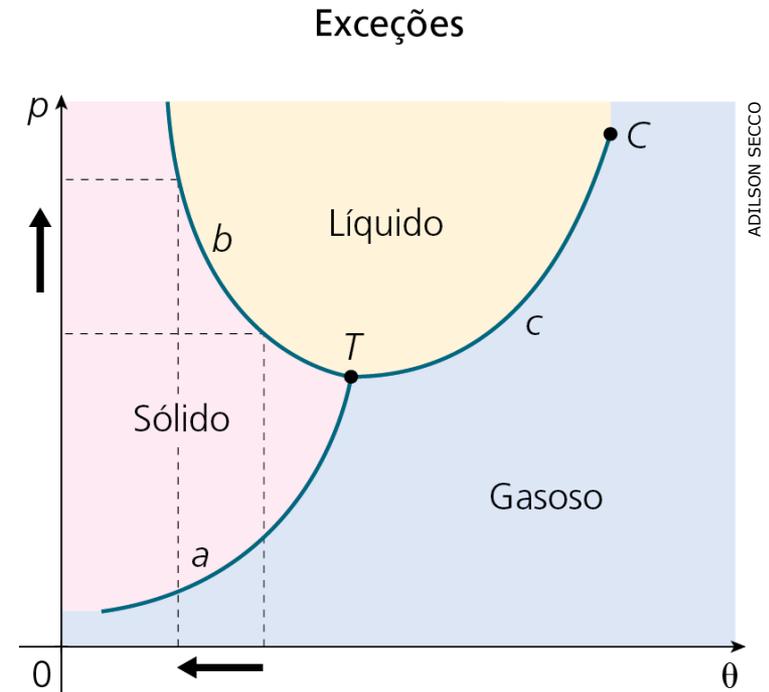


# Diagrama de fases

Como vimos, para a maioria das substâncias, um aumento da pressão exercida sobre a substância implica um aumento da temperatura de mudança de estado físico.

# Diagrama de fases

Entretanto, para substâncias que diminuem de volume ao sofrer fusão (caso da água, do ferro, do bismuto e do antimônio, por exemplo), um aumento de pressão favorece a mudança de estado, passando a mudança de estado a ocorrer em uma temperatura mais baixa.



## **ANOTAÇÕES EM AULA**

**Coordenação editorial:** Juliane Matsubara Barroso

**Elaboração de originais:** Carlos Magno A. Torres, Nicolau Gilberto Ferraro, Paulo Cesar M. Penteado

**Edição de texto:** Eugênio Dalle Olle, Fabio Ferreira Rodrigues, Fernando Savoia Gonzalez, João Batista Silva dos Santos, Livia Santa Clara de Azevedo Ferreira, Lucas Maduar Carvalho Mota, Luiz Alberto de Paula e Silvana Sausmikat Fortes

**Preparação de texto:** Silvana Cobucci Leite

**Coordenação de produção:** Maria José Tanbellini

**Iconografia:** Daniela Baraúna, Érika Freitas, Fabio Yoshihito Matsuura, Flávia Aline de Moraes e Monica de Souza

**Diagramação:** Mamute Mídia

## **EDITORA MODERNA**

**Diretoria de Tecnologia Educacional**

**Editora executiva:** Kelly Mayumi Ishida

**Coordenadora editorial:** Ivonete Lucirio

**Editores:** Andre Jun e Natália Coltri Fernandes

**Assistentes editoriais:** Ciça Japiassu Reis e Renata Michelin

**Editor de arte:** Fabio Ventura

**Editor assistente de arte:** Eduardo Bertolini

**Assistentes de arte:** Ana Maria Totaro, Camila Castro e Valdeí Prazeres

**Revisores:** Antonio Carlos Marques, Diego Rezende e Ramiro Moraes Torres

© Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.  
Todos os direitos reservados.

## **EDITORA MODERNA**

Rua Padre Adelino, 758 – Belenzinho

São Paulo – SP – Brasil – CEP: 03303-904

Vendas e atendimento: Tel. (0\_\_11) 2602-5510

Fax (0\_\_11) 2790-1501

[www.moderna.com.br](http://www.moderna.com.br)

2012



# Transmissão de calor

# Transmissão de calor

Sabemos que calor é a **energia** térmica que transita entre corpos ou sistemas, a temperaturas diferentes.

O calor sempre é transmitido espontaneamente do corpo "mais quente" para o corpo "mais frio".

# Transmissão de calor

O calor pode ser transmitido de um corpo para outro, ou de um sistema para outro, por três processos distintos.

Condução

Convecção

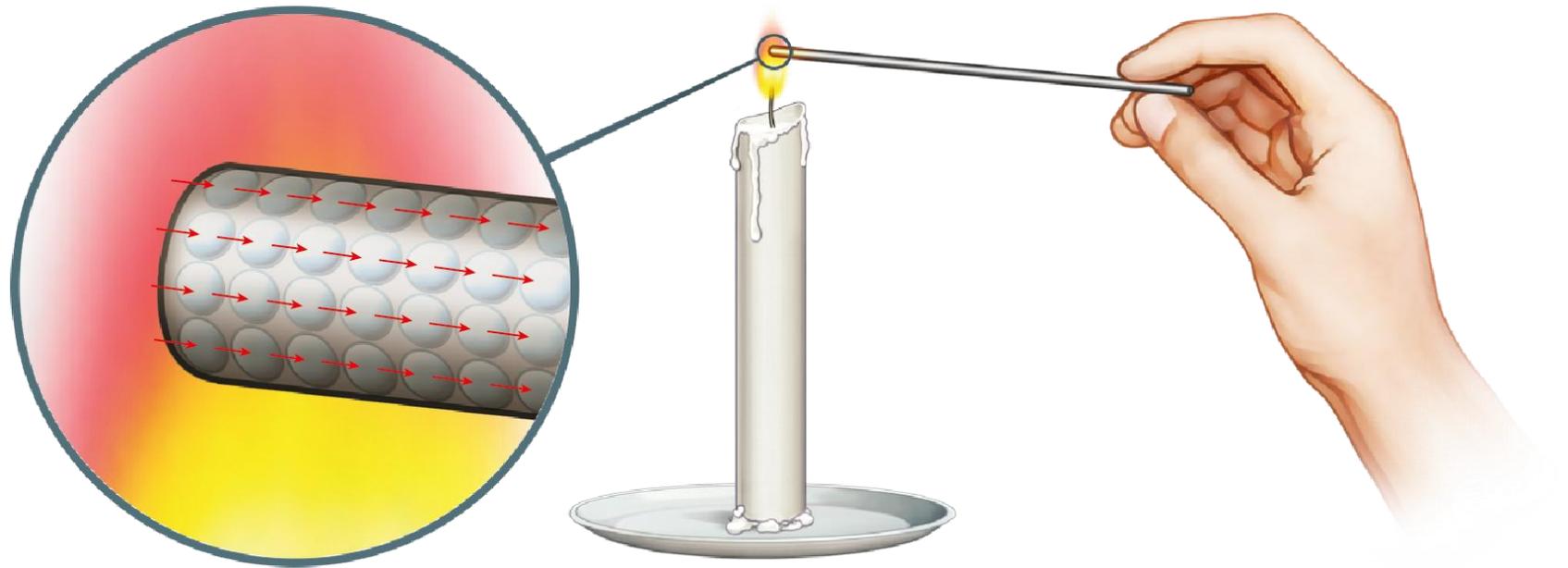
Irradiação

# Condução de calor

No processo de transmissão de calor por condução, a energia térmica se transmite diretamente de uma partícula para outra (átomo, molécula ou íon) através do material do corpo.

Portanto, **a condução não ocorre no vácuo.**

# Condução de calor



# Condução de calor

Dependendo do material através do qual ocorre a condução de calor, podemos ter:

## **Bons condutores de calor (maus isolantes térmicos):**

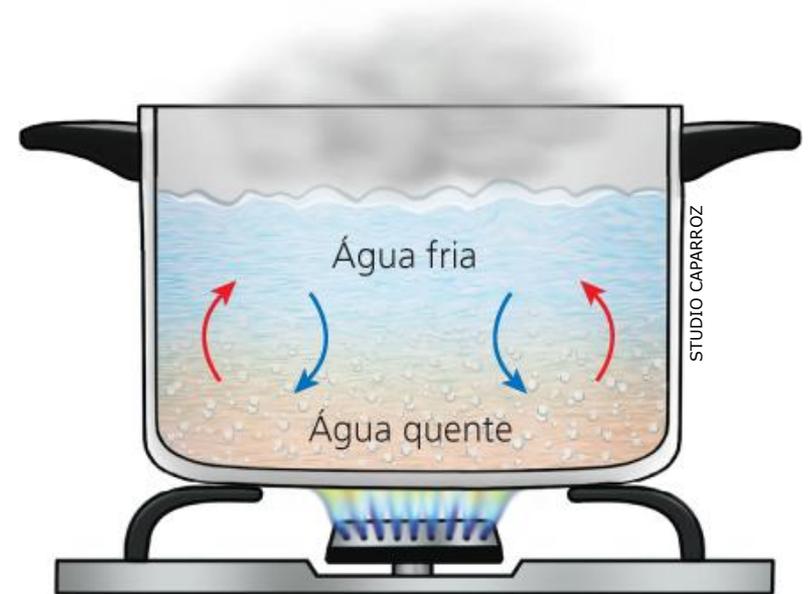
metais. Dentre os metais, a prata é o melhor condutor de calor, seguida do cobre, do alumínio e do ferro.

## **Maus condutores de calor (bons isolantes térmicos):**

vácuo, ar seco, madeira, vidro, isopor, plásticos, gelo, lã, entre outros.

# Convecção de calor

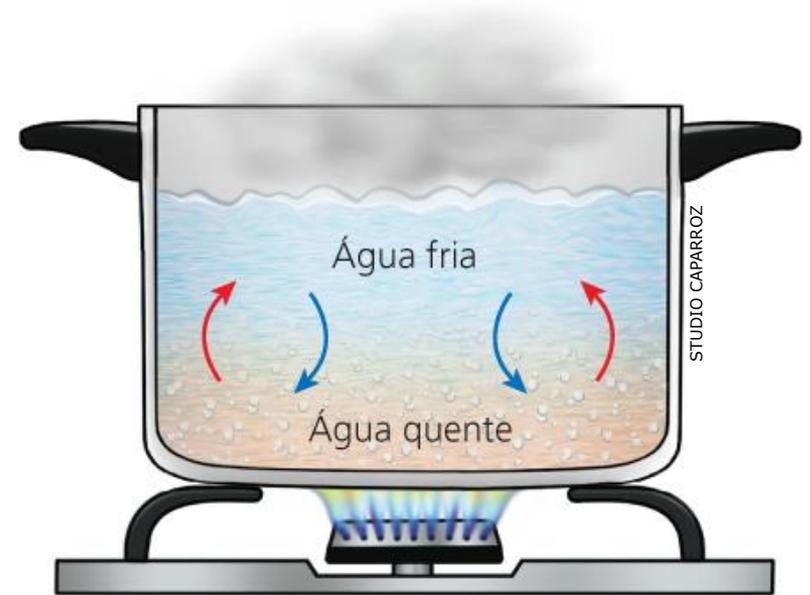
Vamos considerar o aquecimento da água contida em uma panela de alumínio colocada sobre a chama de um fogão a gás.



# Convecção de calor

A água em contato com o fundo da panela se aquece por condução.

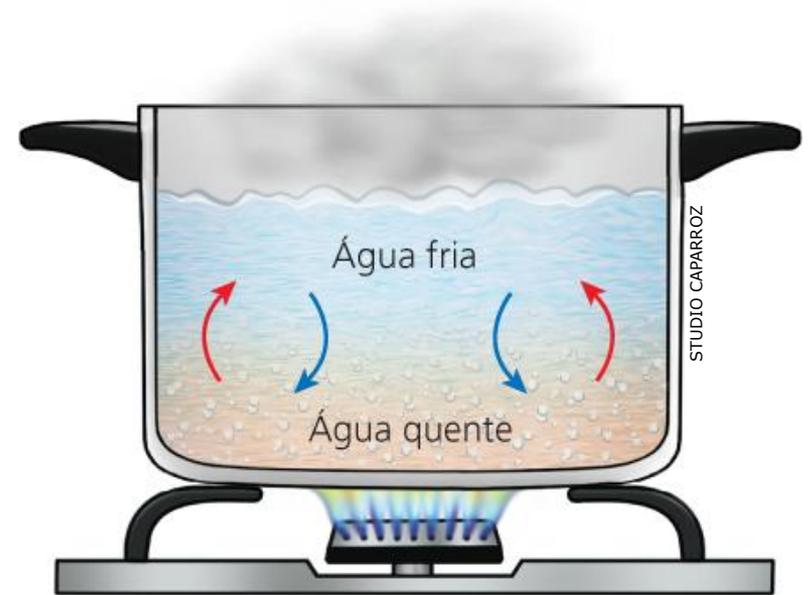
A água aquecida dilata-se, torna-se menos densa e sobe.



# Convecção de calor

Ao subir, a água quente desloca a água fria da região superior para baixo.

A água fria desce e se aquece, e o ciclo se repete.



# Convecção de calor

Na convecção, a energia térmica é, portanto, transmitida por correntes denominadas **correntes de convecção**, juntamente com porções do material aquecido.

As correntes de convecção são originadas pelas diferenças de densidades entre o material quente e o material frio.

Para a convecção ocorrer, é necessário que o material possa fluir (formando as correntes de convecção).

# Convecção de calor

Portanto, a convecção pode ocorrer apenas com os materiais fluidos (líquidos, gases e vapores) e nunca acontece com os materiais sólidos.

De modo geral, podemos afirmar que:

- um aquecimento por convecção deve ser feito de baixo para cima;
- um resfriamento por convecção deve ser feito de cima para baixo.

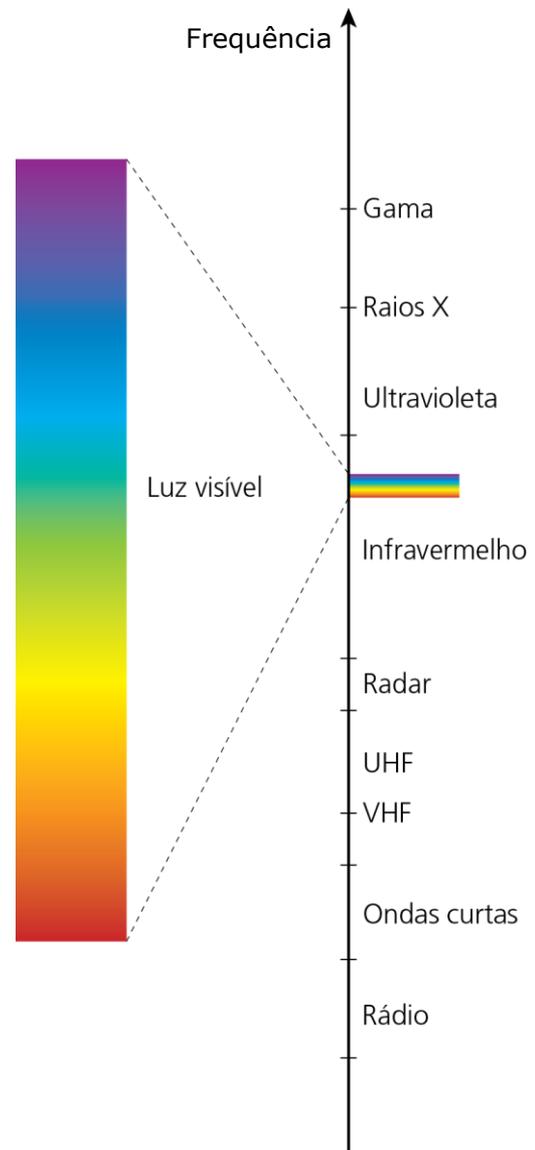
# Irradiação de calor

Na irradiação, o calor é transmitido por ondas eletromagnéticas, principalmente pelos raios infravermelhos, também chamados de ondas de calor ou calor radiante.

As ondas eletromagnéticas podem ser de diferentes tipos.

# Irradiação de calor

Toda e qualquer onda eletromagnética pode se propagar no vácuo. Por esse motivo, a irradiação é o único processo de transmissão de calor que pode ocorrer no vácuo.



ADILSON SECCO

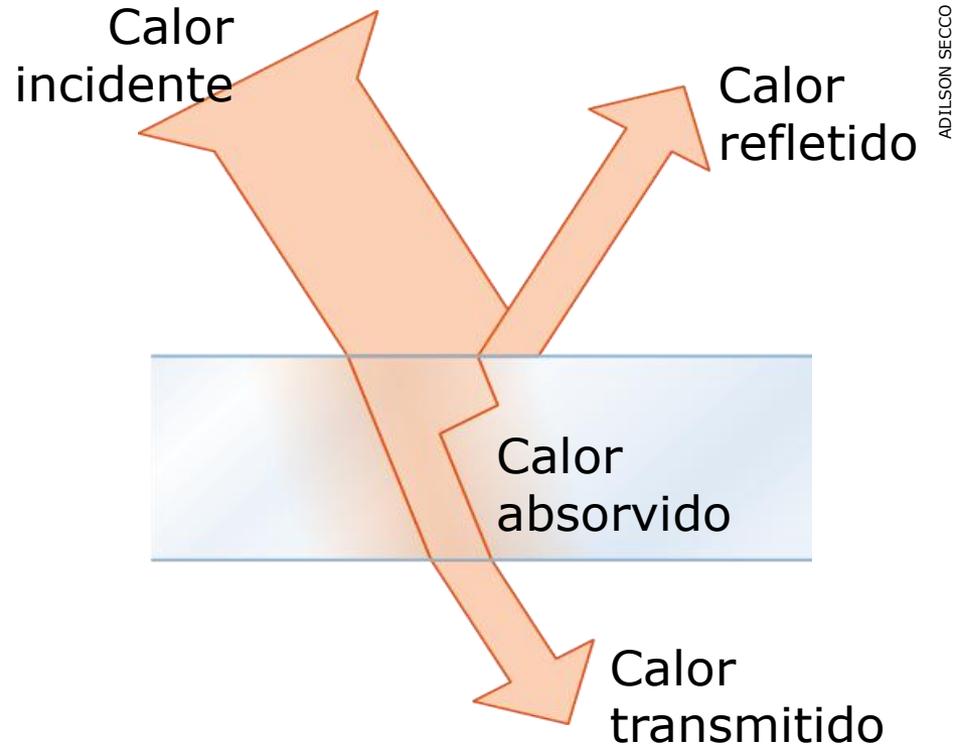
# Irradiação de calor

Todo corpo sempre emite alguma quantidade de calor radiante, que depende apenas de sua temperatura.

A propagação da onda eletromagnética através de um meio material depende de características do meio e da frequência da onda.

# Irradiação de calor

Para um corpo que recebe calor por irradiação, temos:



Calor incidente = calor refletido + calor absorvido + calor transmitido

## **ANOTAÇÕES EM AULA**

**Coordenação editorial:** Juliane Matsubara Barroso

**Elaboração de originais:** Carlos Magno A. Torres, Nicolau Gilberto Ferraro, Paulo Cesar M. Penteado

**Edição de texto:** Eugênio Dalle Olle, Fabio Ferreira Rodrigues, Fernando Savoia Gonzalez, João Batista Silva dos Santos, Livia Santa Clara de Azevedo Ferreira, Lucas Maduar Carvalho Mota, Luiz Alberto de Paula e Silvana Sausmikat Fortes

**Preparação de texto:** Silvana Cobucci Leite

**Coordenação de produção:** Maria José Tanbellini

**Iconografia:** Daniela Baraúna, Érika Freitas, Fabio Yoshihito Matsuura, Flávia Aline de Moraes e Monica de Souza

**Diagramação:** Mamute Mídia

## **EDITORA MODERNA**

**Diretoria de Tecnologia Educacional**

**Editora executiva:** Kelly Mayumi Ishida

**Coordenadora editorial:** Ivonete Lucirio

**Editores:** Andre Jun e Natália Coltri Fernandes

**Assistentes editoriais:** Ciça Japiassu Reis e Renata Michelin

**Editor de arte:** Fabio Ventura

**Editor assistente de arte:** Eduardo Bertolini

**Assistentes de arte:** Ana Maria Totaro, Camila Castro e Valdeí Prazeres

**Revisores:** Antonio Carlos Marques, Diego Rezende e Ramiro Moraes Torres

© Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.  
Todos os direitos reservados.

## **EDITORA MODERNA**

Rua Padre Adelino, 758 – Belenzinho

São Paulo – SP – Brasil – CEP: 03303-904

Vendas e atendimento: Tel. (0\_\_11) 2602-5510

Fax (0\_\_11) 2790-1501

[www.moderna.com.br](http://www.moderna.com.br)

2012



# Estudo dos gases perfeitos

# Comportamento térmico dos gases

## O modelo do gás perfeito ou gás ideal

O **gás perfeito** ou **gás ideal** é um modelo teórico usado para estudar, de maneira simplificada, o comportamento dos gases reais.

# Comportamento térmico dos gases

## Características do gás perfeito

As moléculas têm massa, mas o volume é desprezível.

Moléculas em constante movimentação aleatória e desordenada.

As moléculas interagem apenas durante as colisões.

Todos os choques são elásticos e com duração desprezível.

O volume total das moléculas é desprezível quando comparado ao volume do recipiente.

A altas temperaturas e baixas pressões, os gases reais comportam-se aproximadamente como gases ideais.

# Comportamento térmico dos gases

## A lei de Avogadro

Iguais volumes de quaisquer gases encerram o mesmo número de moléculas, quando medidos nas mesmas condições de temperatura e pressão.



Amedeo Avogadro  
(1776-1856)

# Comportamento térmico dos gases

## Comprovação experimental da lei de Avogadro

1 mol de qualquer gás ( $n = 1$  mol) à temperatura de  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  e à pressão de 1 atm ocupa um volume de 22,4 L.

# Comportamento térmico dos gases

## O número de Avogadro

A quantidade de matéria equivalente a 1 mol de um gás é o conjunto constituído por  $6,02 \cdot 10^{23}$  moléculas desse gás. Esse número, geralmente representado por  $N_0$ , é denominado **número de Avogadro**.

$$N_0 = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ (Número de Avogadro)}$$

# Comportamento térmico dos gases

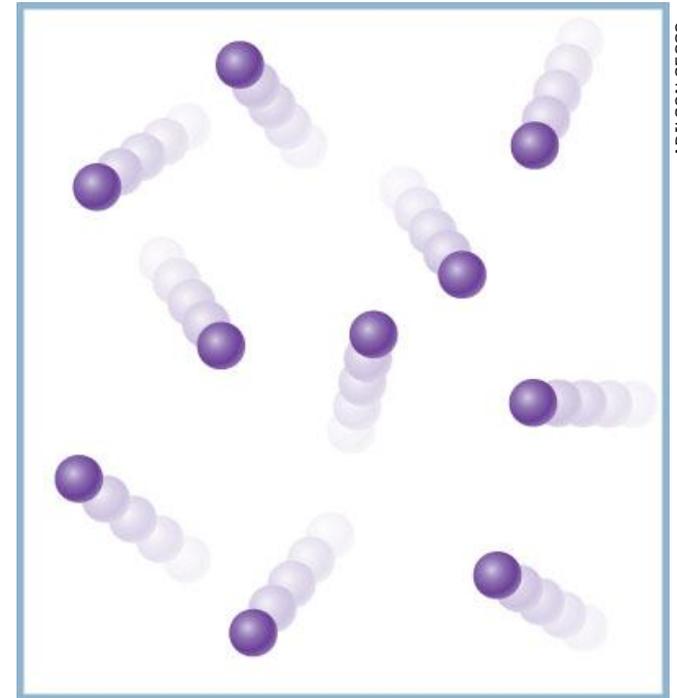
## O número de Avogadro

O número de mols  $n$  de um gás é dado por:

$$n = \frac{m}{M}$$

ou

$$n = \frac{N}{N_0}$$



ADILSON SECCO

$N$  moléculas de um gás ideal de massa molar  $M$  e massa  $m$ .

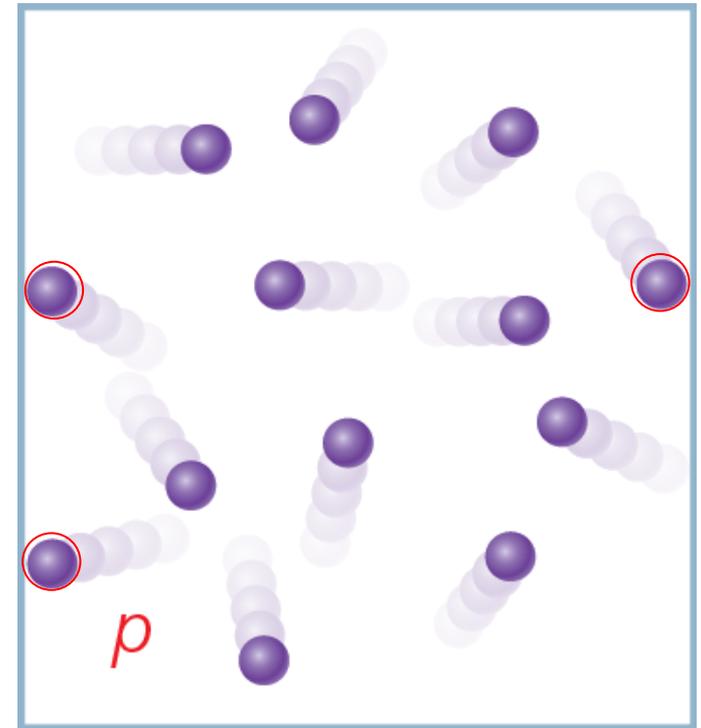
# Equação de estado do gás perfeito

O estado termodinâmico de um gás geralmente é caracterizado por três grandezas físicas. Essas grandezas são denominadas **variáveis de estado**.

# Equação de estado do gás perfeito

As três variáveis de estado são:

1. A **pressão  $p$**  (devida ao choque das moléculas contra as paredes do recipiente em que o gás está contido).

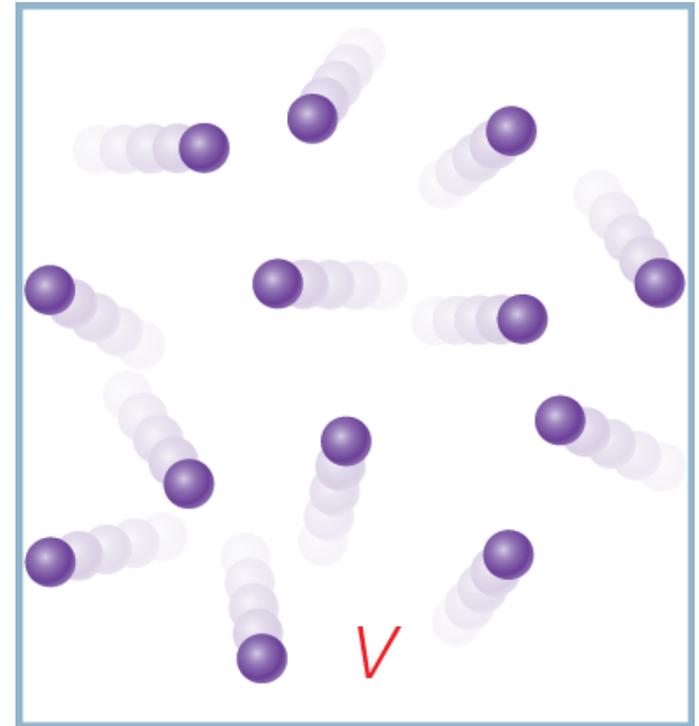


ADILSON SECCO

Uma dada quantidade de gás ideal mantida em um recipiente.

# Equação de estado do gás perfeito

2. O **volume  $V$**  (igual ao volume do recipiente em que o gás está contido).

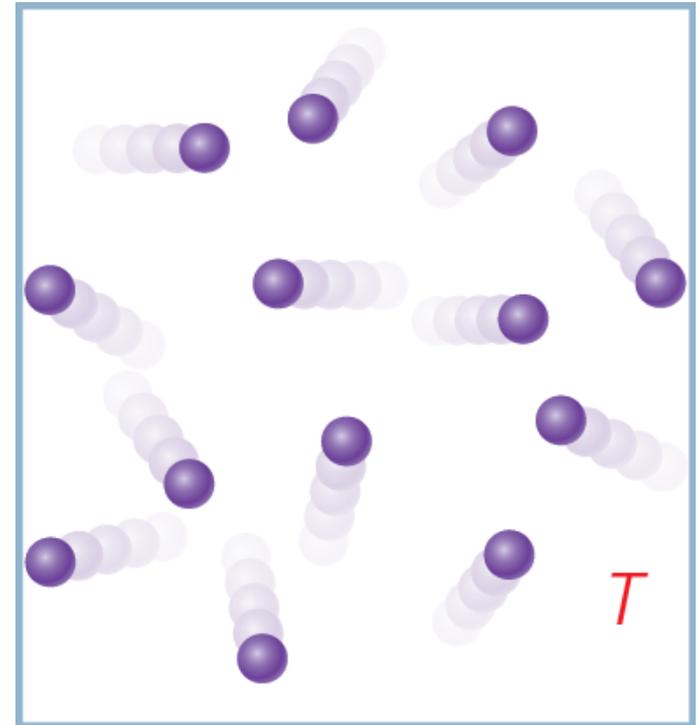


ADILSON SECCO

Uma dada quantidade de gás ideal mantida em um recipiente.

# Equação de estado do gás perfeito

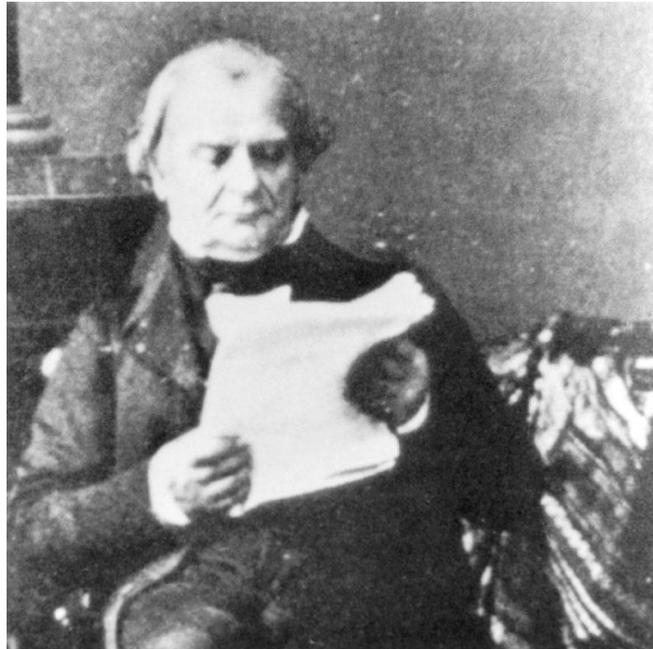
**3. A temperatura absoluta  $T$ ,**  
sempre medida na  
escala Kelvin.



Uma dada quantidade de gás  
ideal mantida em um recipiente.

# Equação de estado do gás perfeito

O engenheiro e físico francês Clapeyron concluiu que a relação  $\frac{p \cdot V}{T}$  é diretamente proporcional ao número de mols  $n$  do gás.



SCIENCE PHOTO LIBRARY/LATINSTOCK

Benoît Paul Émile Clapeyron  
(1799-1864)

# Equação de estado do gás perfeito

Assim:  $\frac{p \cdot V}{T} = \text{constante} \cdot n$

Essa constante de proporcionalidade é representada por  $R$ .

$$\text{Então, } \frac{p \cdot V}{T} = R \cdot n$$

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

(Essa equação é denominada equação de estado do gás perfeito ou equação de Clapeyron.)

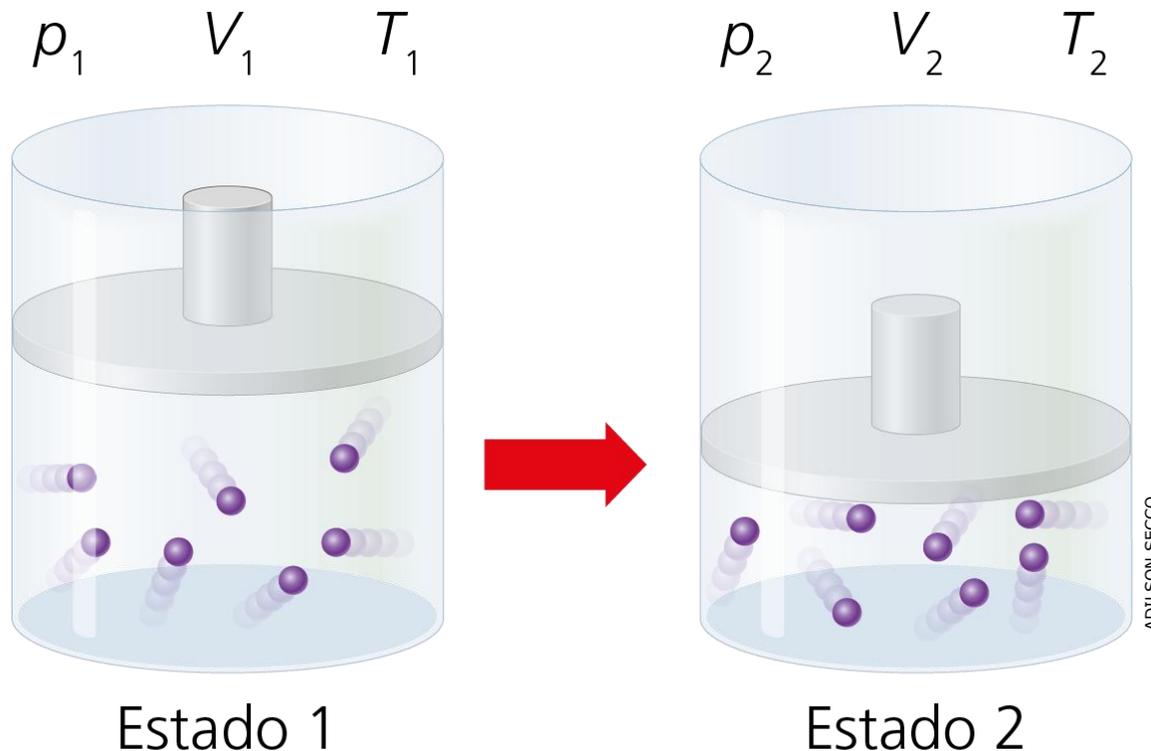
# Equação de estado do gás perfeito

$$R = 0,082 \text{ atm} \cdot \text{L}/(\text{mol} \cdot \text{K}) = 8,31 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$$

**(Constante universal dos gases perfeitos)**

# Lei geral dos gases perfeitos

Consideremos uma dada quantidade de gás perfeito que sofre uma transformação e passa do estado 1 para o estado 2.



# Lei geral dos gases perfeitos

Da equação de Clapeyron, temos:

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = n_1 \cdot R \quad (\text{estado 1})$$

e

$$\frac{p_2 \cdot V_2}{T_2} = n_2 \cdot R \quad (\text{estado 2})$$

# Lei geral dos gases perfeitos

Considerando que, durante a transformação, a quantidade de gás não variou, isto é,  $n_1 = n_2 = n$ , então:

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = n \cdot R \quad \text{e} \quad \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2} = n \cdot R$$

Portanto:

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

**(Lei geral dos gases perfeitos)**

# Transformações gasosas particulares

Sempre que um gás sofre uma transformação, pelo menos duas das três variáveis de estado (pressão, volume e temperatura) se alteram.

As transformações gasosas particulares são casos especiais em que uma das três variáveis de estado permanece constante.

# Transformações gasosas particulares

Podemos ter, então:

$T = \text{constante} \Rightarrow$  Transformação isotérmica

$p = \text{constante} \Rightarrow$  Transformação isobárica

$V = \text{constante} \Rightarrow$  Transformação isocórica (ou isométrica ou, ainda, isovolumétrica)

# Transformações gasosas particulares

## Transformação isotérmica (lei de Boyle-Mariotte)

“Sob temperatura constante, a pressão e o volume de uma dada massa de gás ideal são grandezas inversamente proporcionais.”

# Transformações gasosas particulares

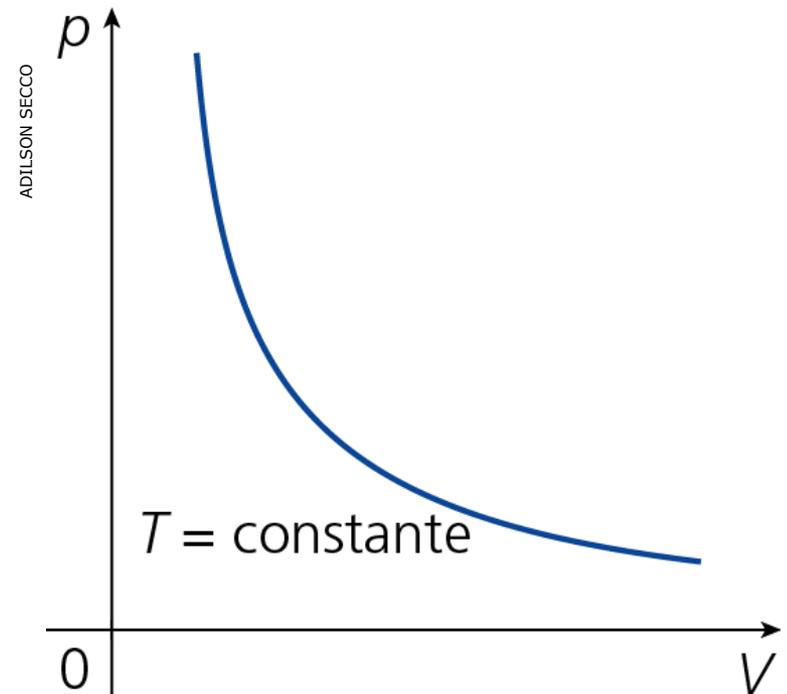
## Transformação isotérmica (lei de Boyle-Mariotte)

Se  $T$  é constante, então, pela lei geral dos gases perfeitos:

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

$$\Rightarrow \frac{p_1 \cdot V_1}{T} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2$$



# Transformações gasosas particulares

## Transformação isobárica (lei de Charles)

“Sob pressão constante, o volume e a temperatura de uma dada massa de gás ideal são grandezas diretamente proporcionais.”

# Transformações gasosas particulares

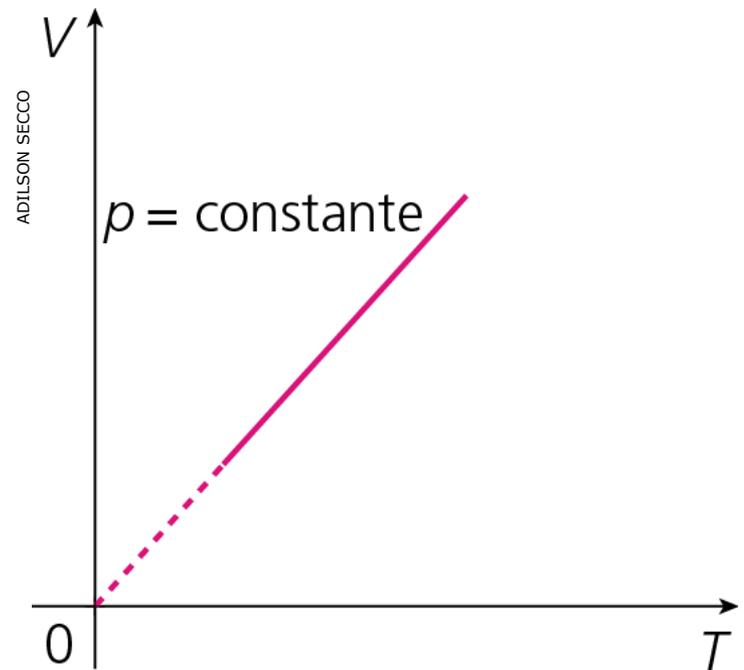
## Transformação isobárica (lei de Charles)

Se  $p$  é constante, então, pela lei geral dos gases perfeitos:

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

$$\Rightarrow \frac{p \cdot V_1}{T_1} = \frac{p \cdot V_2}{T_2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \boxed{\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}}$$



# Transformações gasosas particulares

## Transformação isocórica (lei de Gay-Lussac)

“Sob volume constante, a pressão e a temperatura de uma dada massa de gás ideal são grandezas diretamente proporcionais.”

# Transformações gasosas particulares

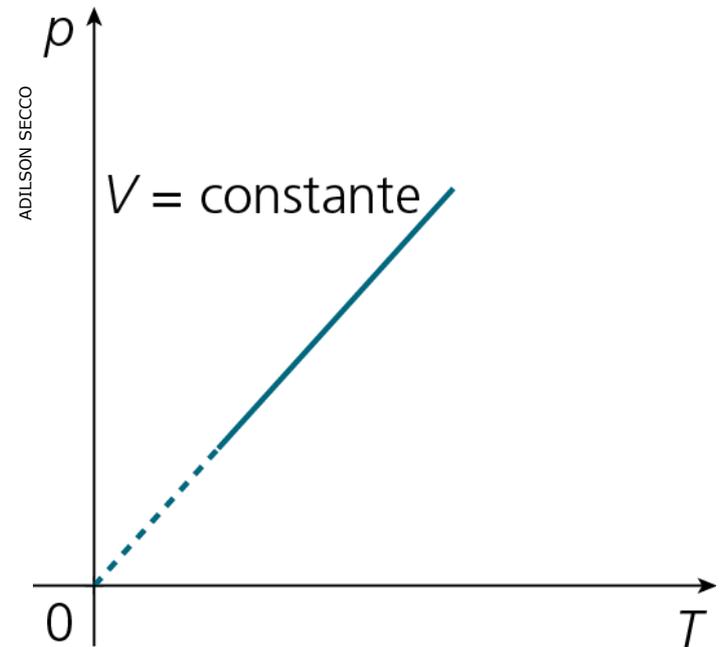
## Transformação isocórica (lei de Gay-Lussac)

Se  $V$  é constante, então, pela lei geral dos gases perfeitos:

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

$$\Rightarrow \frac{p_1 \cdot V}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V}{T_2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \boxed{\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}}$$



## **ANOTAÇÕES EM AULA**

**Coordenação editorial:** Juliane Matsubara Barroso

**Elaboração de originais:** Carlos Magno A. Torres, Nicolau Gilberto Ferraro, Paulo Cesar M. Penteado

**Edição de texto:** Eugênio Dalle Olle, Fabio Ferreira Rodrigues, Fernando Savoia Gonzalez, João Batista Silva dos Santos, Livia Santa Clara de Azevedo Ferreira, Lucas Maduar Carvalho Mota, Luiz Alberto de Paula e Silvana Sausmikat Fortes

**Preparação de texto:** Silvana Cobucci Leite

**Coordenação de produção:** Maria José Tanbellini

**Iconografia:** Daniela Baraúna, Érika Freitas, Fabio Yoshihito Matsuura, Flávia Aline de Moraes e Monica de Souza

**Diagramação:** Mamute Mídia

## **EDITORA MODERNA**

**Diretoria de Tecnologia Educacional**

**Editora executiva:** Kelly Mayumi Ishida

**Coordenadora editorial:** Ivonete Lucirio

**Editores:** Andre Jun e Natália Coltri Fernandes

**Assistentes editoriais:** Ciça Japiassu Reis e Renata Michelin

**Editor de arte:** Fabio Ventura

**Editor assistente de arte:** Eduardo Bertolini

**Assistentes de arte:** Ana Maria Totaro, Camila Castro e Valdeí Prazeres

**Revisores:** Antonio Carlos Marques, Diego Rezende e Ramiro Moraes Torres

© Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.  
Todos os direitos reservados.

## **EDITORA MODERNA**

Rua Padre Adelino, 758 – Belenzinho

São Paulo – SP – Brasil – CEP: 03303-904

Vendas e atendimento: Tel. (0\_\_11) 2602-5510

Fax (0\_\_11) 2790-1501

[www.moderna.com.br](http://www.moderna.com.br)

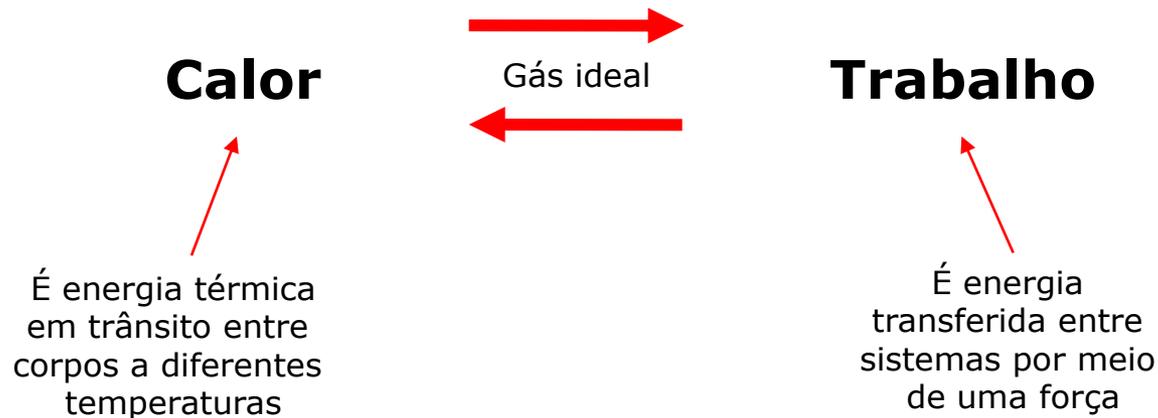
2012



# Termodinâmica

# Termodinâmica

A **Termodinâmica** é a área da Física que investiga os processos pelos quais calor se converte em trabalho ou trabalho se converte em calor.

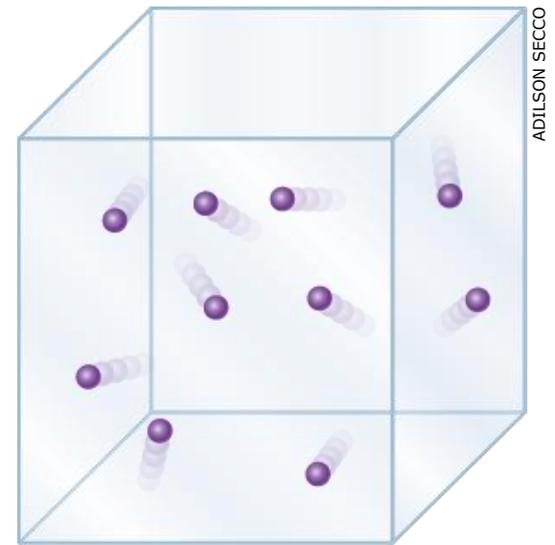


# Energia interna de um gás

As moléculas de um gás estão em constante movimentação.

Dentre outras formas de energia, as moléculas possuem energia cinética.

A energia interna do gás, que passamos a representar por  $U$ , corresponde à soma das energias cinéticas de todas as moléculas do gás.



# Energia interna de um gás

Essa energia depende da quantidade de gás e de sua temperatura absoluta. Para um gás perfeito monoatômico, desmonstra-se que:

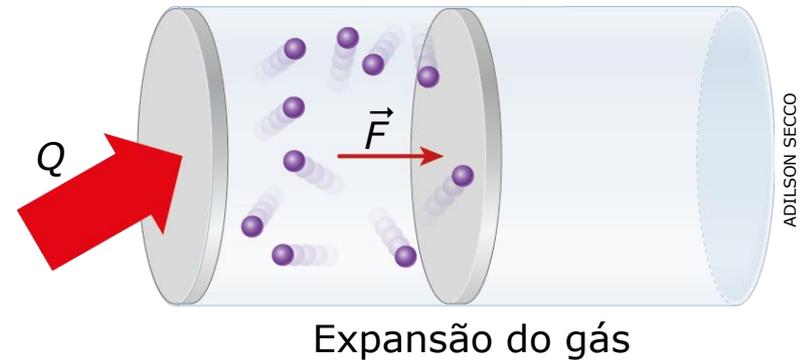
$$U = \frac{3}{2} \cdot n \cdot R \cdot T \quad \xrightarrow{\text{Mas: } p \cdot V = n \cdot R \cdot T} \quad U = \frac{3}{2} \cdot p \cdot V$$

## Lei de Joule

Para uma dada massa de gás perfeito,  $n = \text{constante}$ , a energia interna  $U$  depende exclusivamente de sua temperatura absoluta  $T$ .

# Trabalho em uma transformação gasosa

Consideremos determinada quantidade de gás contida em um cilindro provido de êmbolo que pode deslizar sem atrito.



## Cálculo do trabalho da força $\vec{F}$

$$\tau = F \cdot d$$

Como:

$$\text{Então, } \tau = p \cdot S \cdot d$$

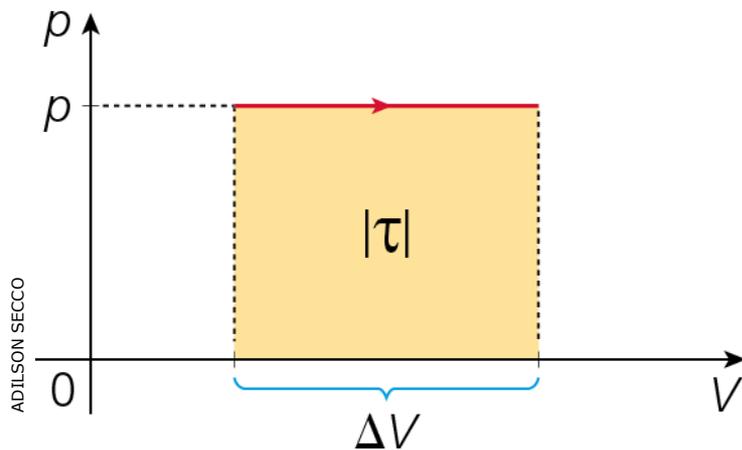
$$\text{Mas: } S \cdot d = \Delta V$$

Portanto,  $\tau = p \cdot \Delta V$  (válido quando  $p = \text{constante}$ )

# Trabalho numa transformação gasosa

A expressão deduzida só é válida nas transformações em que a pressão do gás permanece constante (transformação isobárica). Em um diagrama Pressão  $\times$  Volume (diagrama de Clapeyron):

Portanto,



$$\tau = p \cdot \Delta V$$

$$|\tau| = \text{“área” sob } p \times V$$

# Trabalho numa transformação gasosa

Essa propriedade pode ser generalizada e válida mesmo que a pressão  $p$  exercida pelo gás durante a transformação varie. Então, em qualquer transformação gasosa:

$$|\tau| = \text{“área” sob } p \times V \left\{ \begin{array}{l} \text{Se } V \text{ aumenta} \Rightarrow \tau > 0 \text{ (o gás realiza trabalho)} \\ \text{Se } V = \text{constante} \Rightarrow \tau = 0 \text{ (transformação isocórica)} \\ \text{Se } V \text{ diminui} \Rightarrow \tau < 0 \text{ (o gás recebe trabalho)} \end{array} \right.$$

# Primeira lei da Termodinâmica

A primeira lei da Termodinâmica é uma lei de conservação de energia que mostra a equivalência entre calor e trabalho.

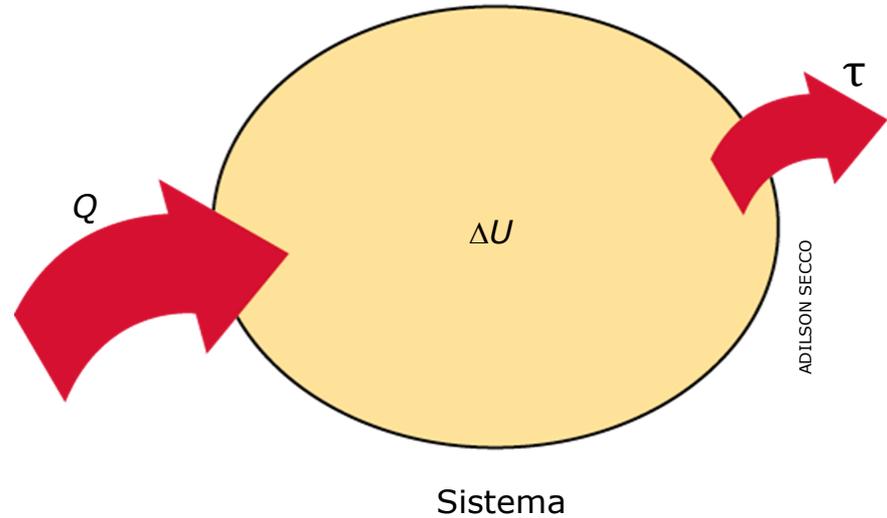
De acordo com essa lei:

A variação da energia interna  $\Delta U$  do sistema é igual à diferença entre o calor  $Q$  trocado pelo sistema e o trabalho  $\tau$  envolvido na transformação.

# Primeira lei da Termodinâmica

Então:

$$\Delta U = Q - \tau$$







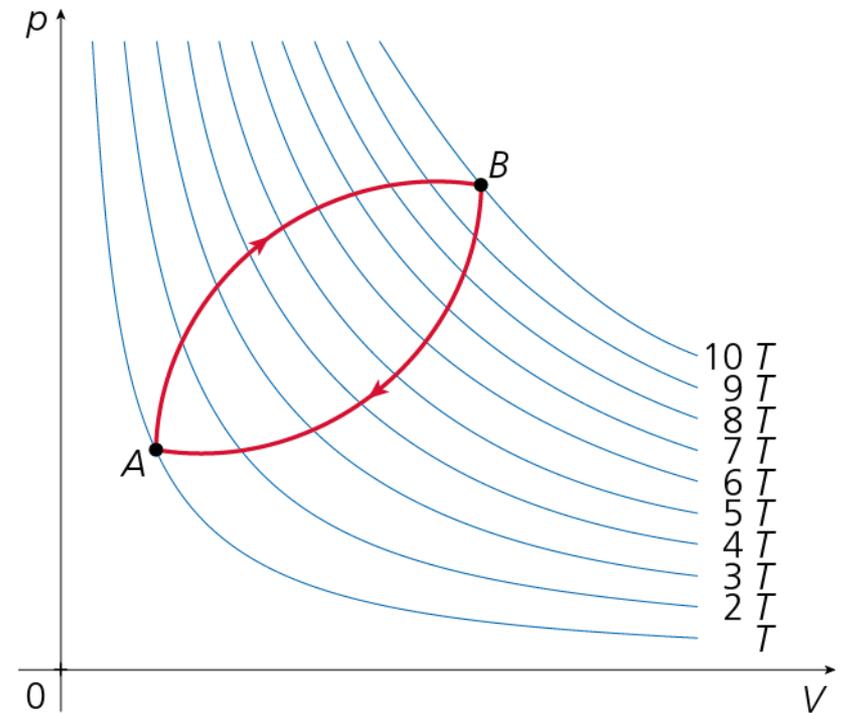
# Primeira lei da Termodinâmica

Portanto, a variação da energia interna  $\Delta U$  de um sistema termodinâmico é o resultado de um balanço energético entre o calor  $Q$  trocado e o trabalho  $\tau$  envolvido na transformação.

$$\tau \left\{ \begin{array}{l} \tau > 0 \Leftrightarrow V \text{ aumenta} \Leftrightarrow \text{o sistema } \mathbf{realiza trabalho} \\ \tau = 0 \Leftrightarrow V \text{ constante } \mathbf{(transformação isocórica)} \\ \tau < 0 \Leftrightarrow V \text{ diminui} \Leftrightarrow \text{o sistema } \mathbf{recebe trabalho} \end{array} \right.$$

# Transformações cíclicas

Uma transformação gasosa é chamada de **transformação cíclica** ou **ciclo** quando o estado final do gás coincide com o estado inicial.



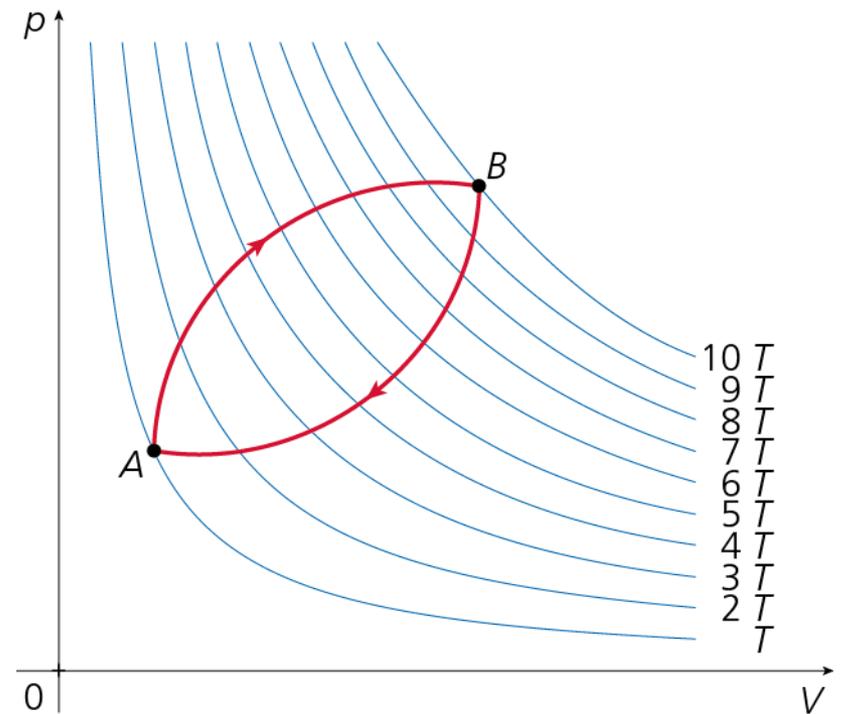
# Transformações cíclicas

Durante o processo, a temperatura poderá variar continuamente.

Ao retornar ao estado inicial, a temperatura final será a mesma do início.

Portanto, em qualquer transformação cíclica:

$$\Delta U = 0$$



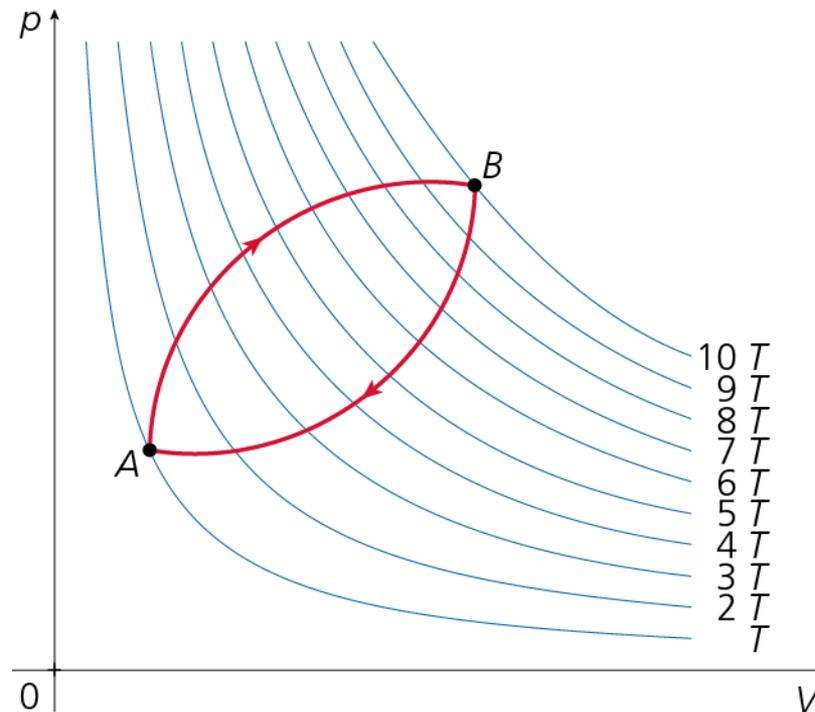
# Transformações cíclicas

## Trabalho na transformação cíclica

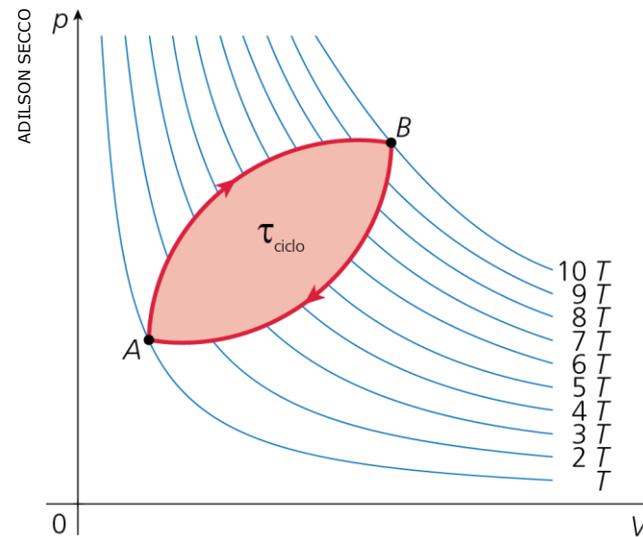
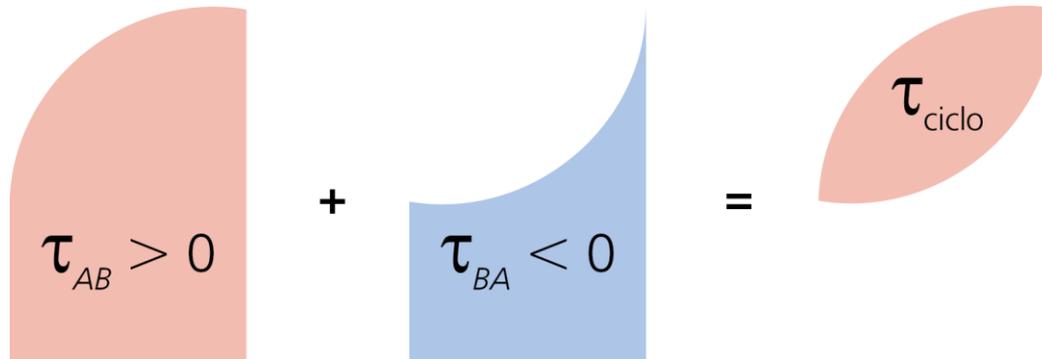
Em uma transformação cíclica, o trabalho é calculado pela soma algébrica dos trabalhos de todas as etapas do ciclo.

No exemplo ao lado:

$$\tau_{\text{ciclo}} = \tau_{AB} + \tau_{BA}$$



# Transformações cíclicas



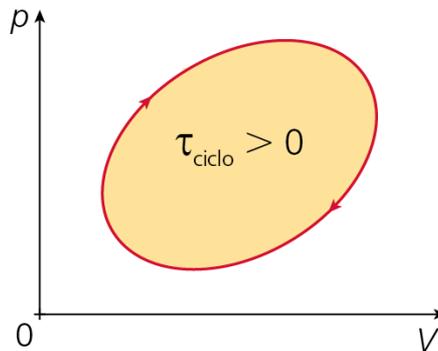
# Transformações cíclicas

## Trabalho na transformação cíclica

Portanto, em qualquer ciclo:

$$|\tau_{\text{ciclo}}| = \text{"área"} \text{ interna do ciclo no diagrama } p \times V$$

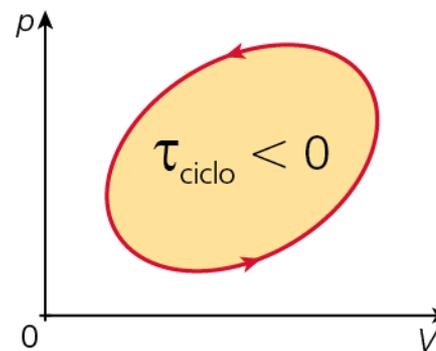
### Ciclo horário



Máquinas térmicas

Calor é convertido  
em trabalho

### Ciclo anti-horário



Máquinas frigoríficas

Trabalho é convertido  
em calor

ou

ADILSON SECCO

# Segunda lei da Termodinâmica

A segunda lei da Termodinâmica pode ser enunciada de diferentes maneiras.

Calor não flui espontaneamente de um corpo com menor temperatura para um corpo com maior temperatura.

Enunciado de Kelvin-Planck

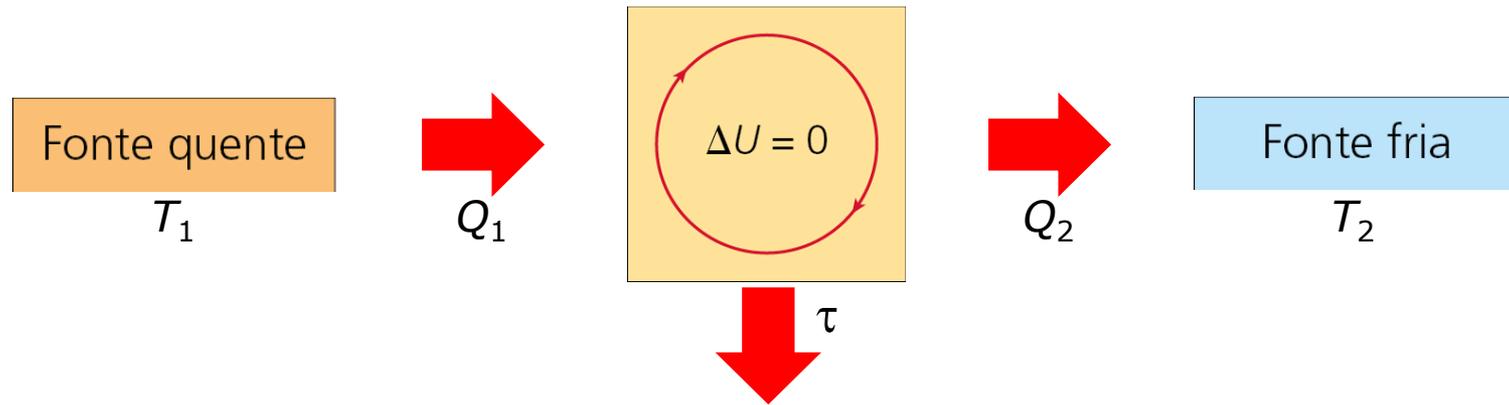
Para as máquinas térmicas:

É impossível a uma máquina térmica operando em ciclo converter integralmente calor em trabalho.

Enunciado de Kelvin-Planck

# Segunda lei da Termodinâmica

A segunda lei da Termodinâmica, aplicada às máquinas térmicas, pode ser assim resumida:



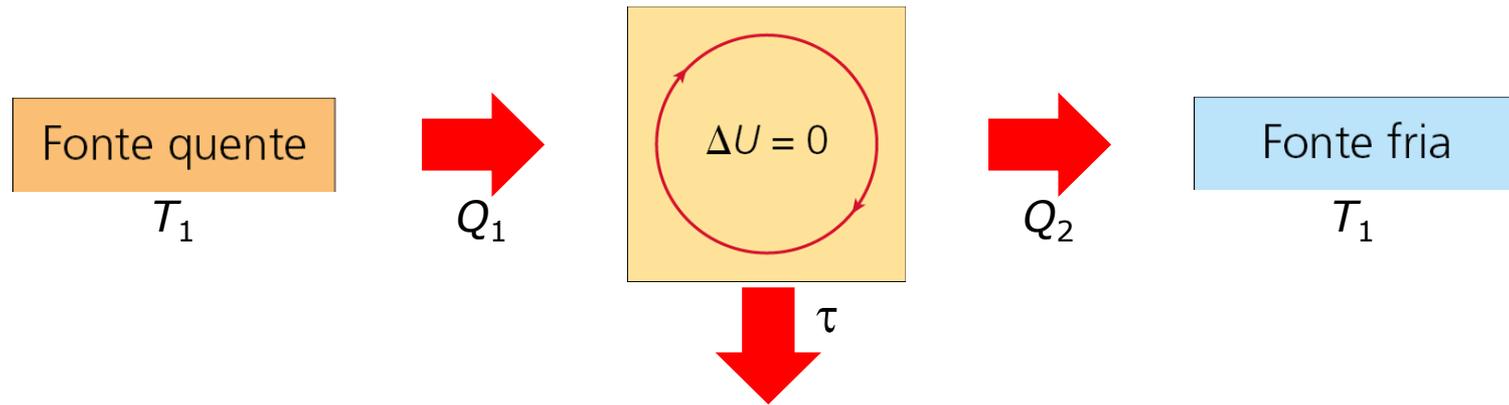
ADILSON SECCO

Pela primeira lei da Termodinâmica:

$$\tau = Q_1 - Q_2$$

# Segunda lei da Termodinâmica

A segunda lei da Termodinâmica, aplicada às máquinas térmicas, pode ser assim resumida:



ADILSON SECCO

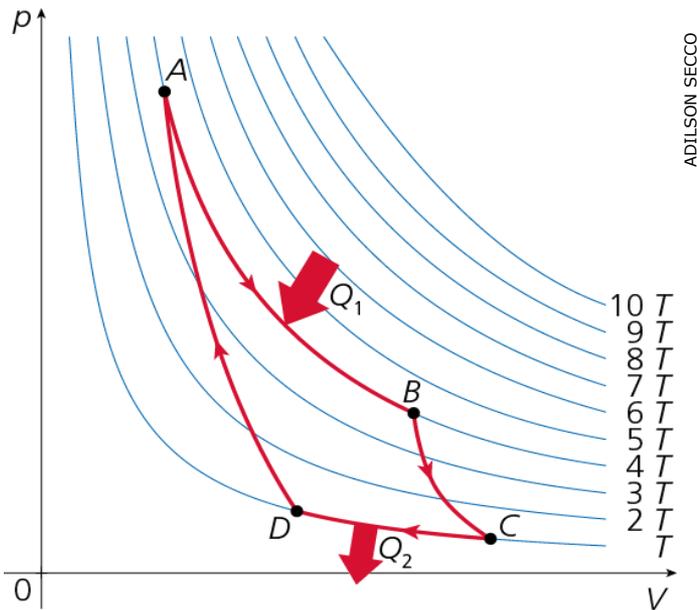
Define-se o rendimento  $\eta$  como:

$$\eta = \frac{\text{trabalho útil}}{\text{calor recebido}} \Rightarrow \eta = \frac{\tau}{Q_1} \quad \text{ou} \quad \eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \Rightarrow \eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$$

# Ciclo de Carnot

O ciclo de Carnot é o ciclo teórico que, ao operar entre as temperaturas  $T_1$  e  $T_2$ , apresenta o máximo rendimento, quando comparado a qualquer outro ciclo.

É constituído por duas transformações isotérmicas alternadas a duas transformações adiabáticas:



- $A \rightarrow B$ : Expansão isotérmica
- $B \rightarrow C$ : Expansão adiabática
- $C \rightarrow D$ : Compressão isotérmica
- $D \rightarrow A$ : Compressão adiabática

# O ciclo de Carnot

## Rendimento

No ciclo de Carnot, o calor trocado é proporcional à temperatura absoluta da fonte, isto é:

$$Q = k \cdot T$$

Calculemos, então, o rendimento de uma máquina de Carnot:

$$\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$$

$$\eta_{\text{Carnot}} = 1 - \frac{\cancel{1} \cdot k \cdot T_2}{\cancel{1} \cdot k \cdot T_1}$$

$$\eta_{\text{Carnot}} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

## **ANOTAÇÕES EM AULA**

**Coordenação editorial:** Juliane Matsubara Barroso

**Elaboração de originais:** Carlos Magno A. Torres, Nicolau Gilberto Ferraro, Paulo Cesar M. Penteado

**Edição de texto:** Eugênio Dalle Olle, Fabio Ferreira Rodrigues, Fernando Savoia Gonzalez, João Batista Silva dos Santos, Livia Santa Clara de Azevedo Ferreira, Lucas Maduar Carvalho Mota, Luiz Alberto de Paula e Silvana Sausmikat Fortes

**Preparação de texto:** Silvana Cobucci Leite

**Coordenação de produção:** Maria José Tanbellini

**Iconografia:** Daniela Baraúna, Érika Freitas, Fabio Yoshihito Matsuura, Flávia Aline de Moraes e Monica de Souza

**Diagramação:** Mamute Mídia

## **EDITORA MODERNA**

**Diretoria de Tecnologia Educacional**

**Editora executiva:** Kelly Mayumi Ishida

**Coordenadora editorial:** Ivonete Lucirio

**Editores:** Andre Jun e Natália Coltri Fernandes

**Assistentes editoriais:** Ciça Japiassu Reis e Renata Michelin

**Editor de arte:** Fabio Ventura

**Editor assistente de arte:** Eduardo Bertolini

**Assistentes de arte:** Ana Maria Totaro, Camila Castro e Valdeí Prazeres

**Revisores:** Antonio Carlos Marques, Diego Rezende e Ramiro Moraes Torres

© Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.  
Todos os direitos reservados.

## **EDITORA MODERNA**

Rua Padre Adelino, 758 – Belenzinho

São Paulo – SP – Brasil – CEP: 03303-904

Vendas e atendimento: Tel. (0\_\_11) 2602-5510

Fax (0\_\_11) 2790-1501

[www.moderna.com.br](http://www.moderna.com.br)

2012