

Capítulo

19

# Calorimetria

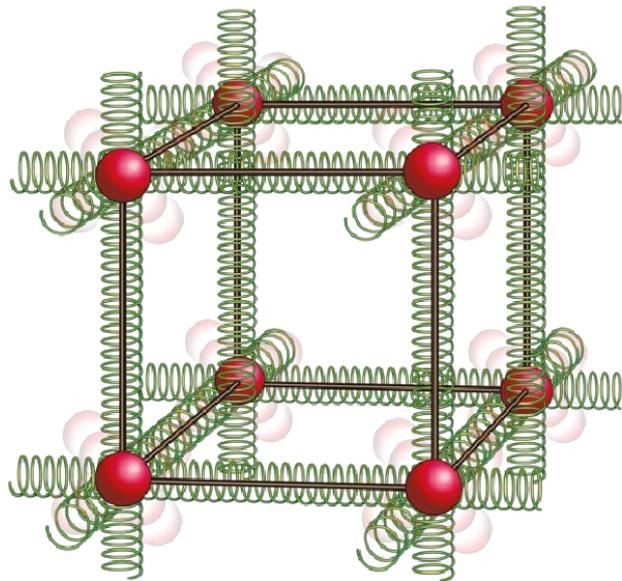


# Calorimetria

## Conceito de calor

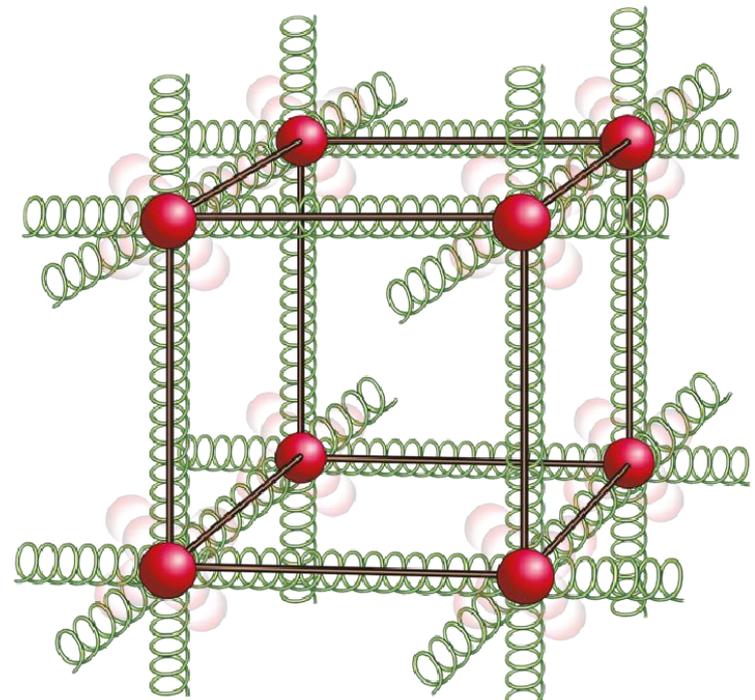
Já sabemos que a temperatura de um corpo está relacionada à agitação das partículas que o constituem.

# Calorimetria



Temperatura  $\theta_0$

Aquecimento



Temperatura  $\theta > \theta_0$

STUDIO CAPARROZ

Maior temperatura  $\Rightarrow$

Maior agitação  $\Rightarrow$

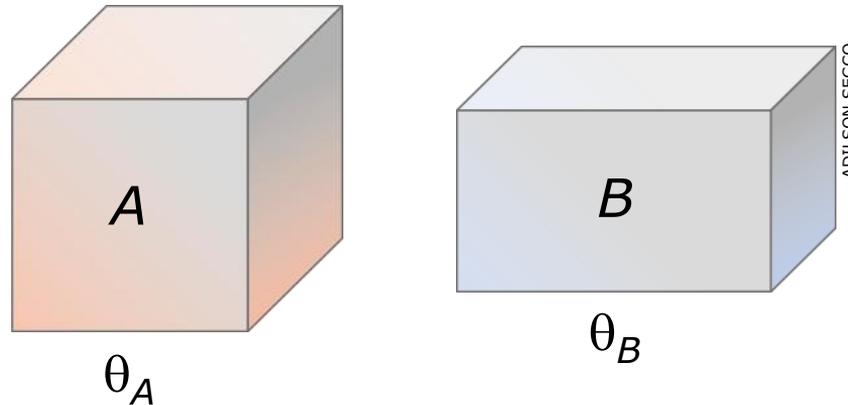
Maior energia térmica



# Calorimetria

## Conceito de calor

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

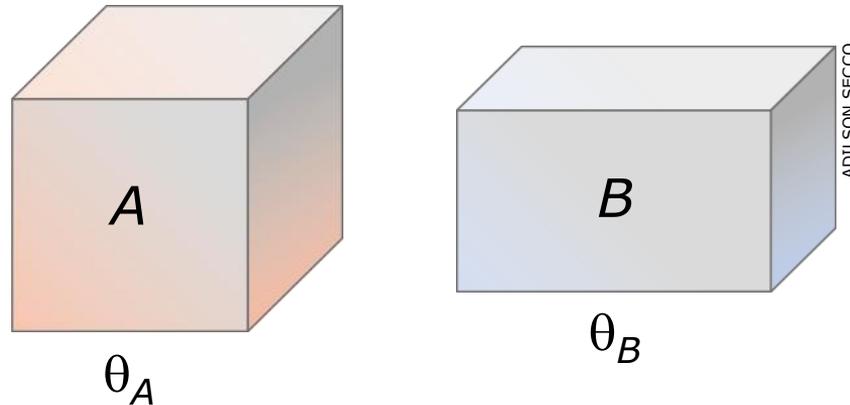


# Calorimetria

## 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

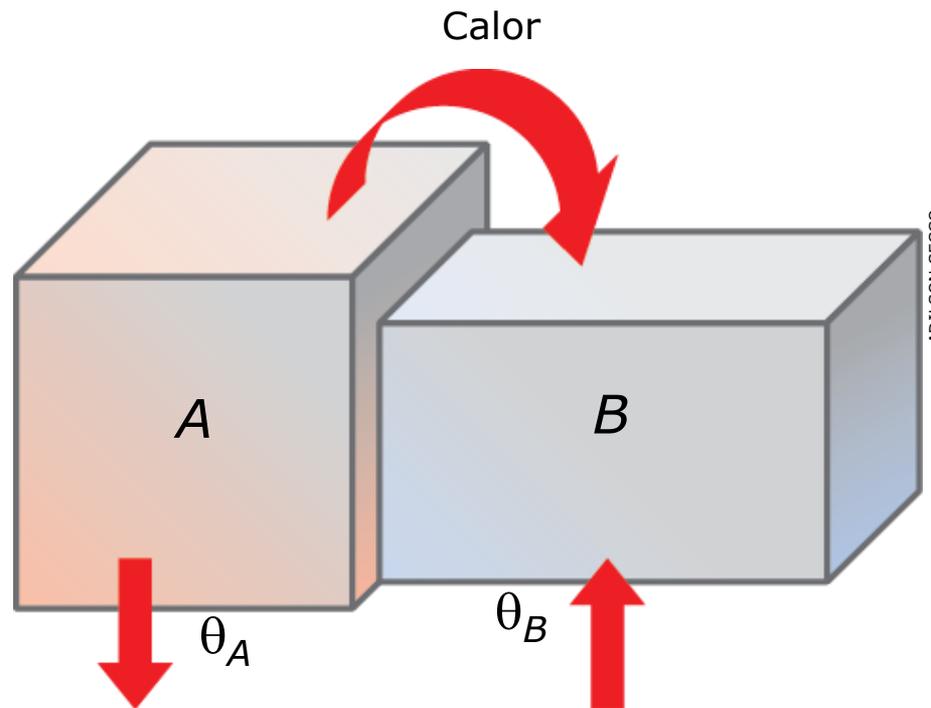
O que acontece se  $A$  e  $B$  são colocados em contato um com o outro?

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**.

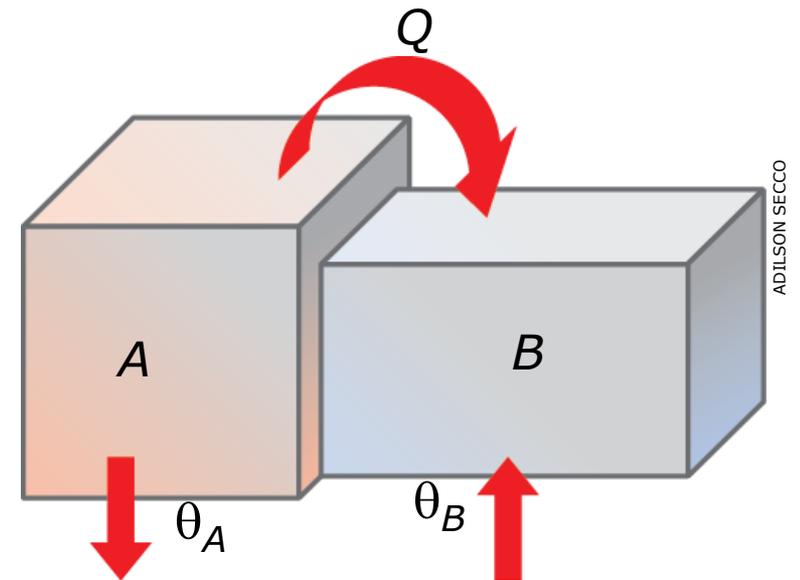
Portanto:

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

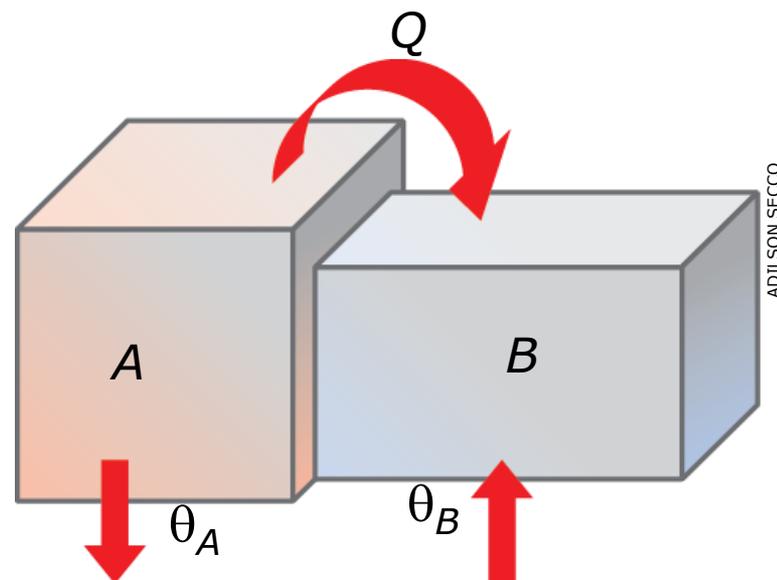
## Conceito de calor

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)

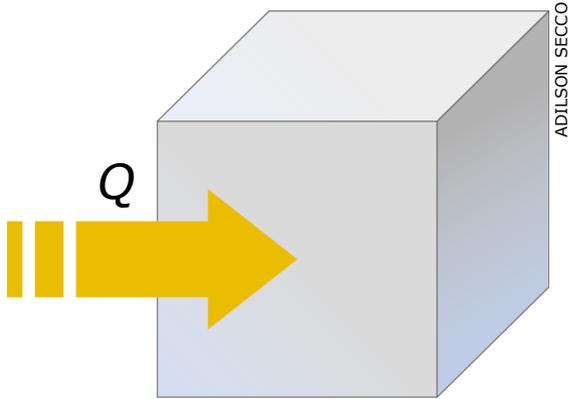
$\theta_{\text{ebulição}} = 100 \text{ } ^\circ\text{C}$  (Passagem do estado líquido para o estado gasoso)

# 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

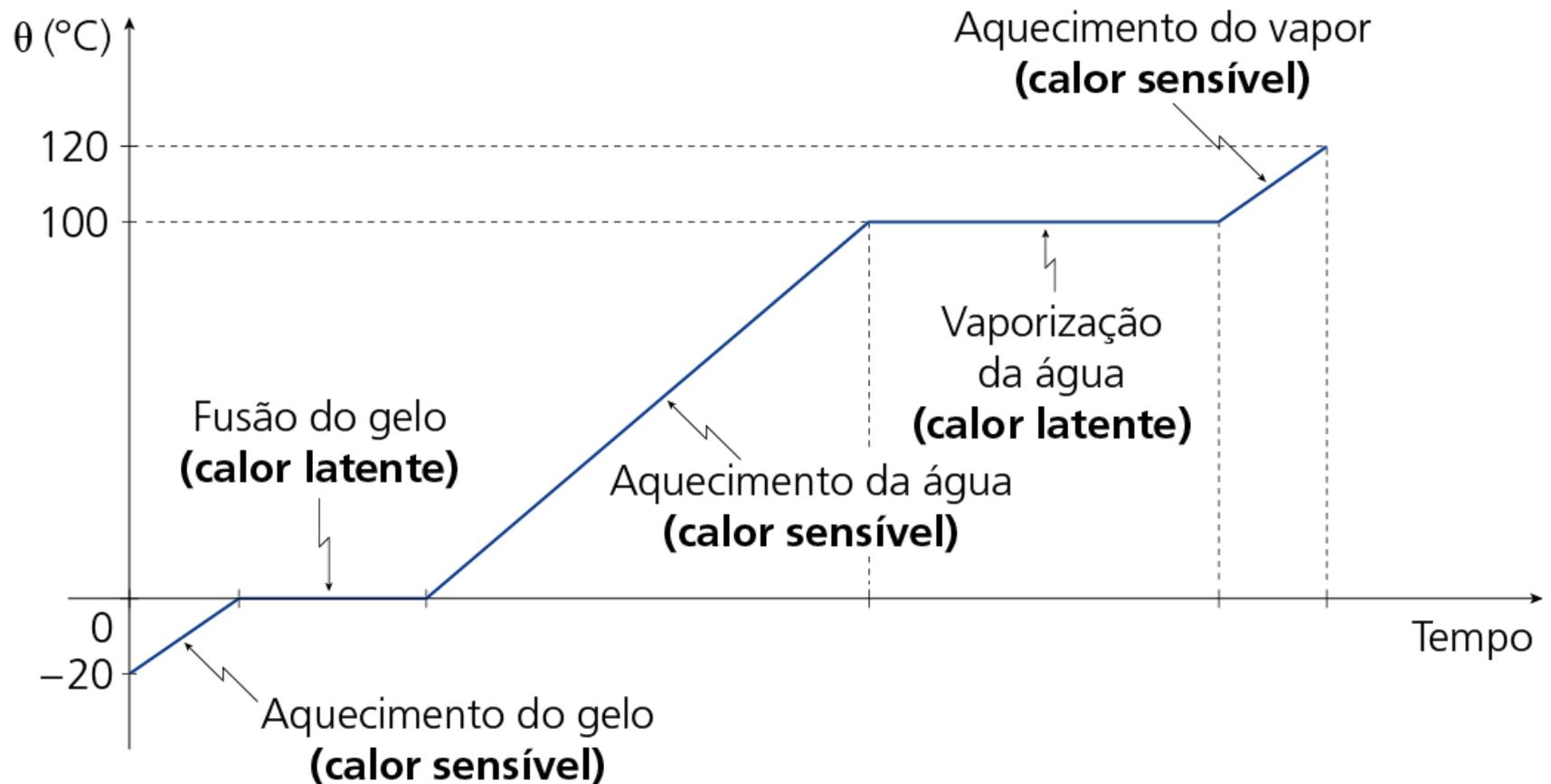
O calor que provoca uma variação de temperatura é denominado **calor sensível**.

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  $-20\text{ °C}$ , poderíamos ter a curva de aquecimento a seguir:

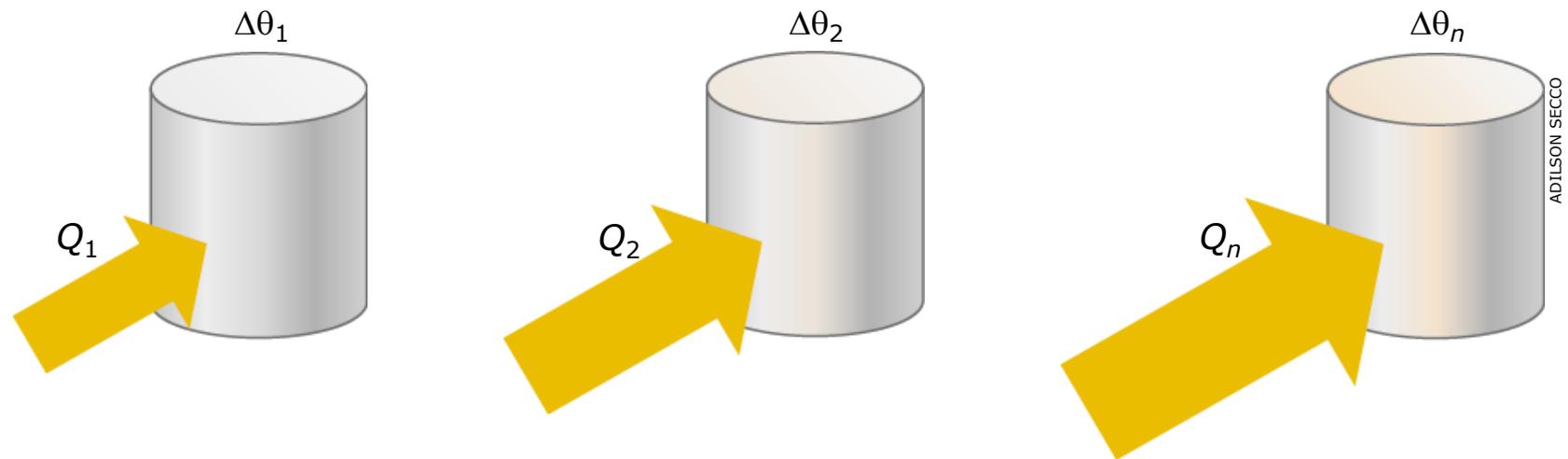
# Calor sensível e calor latente



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.

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

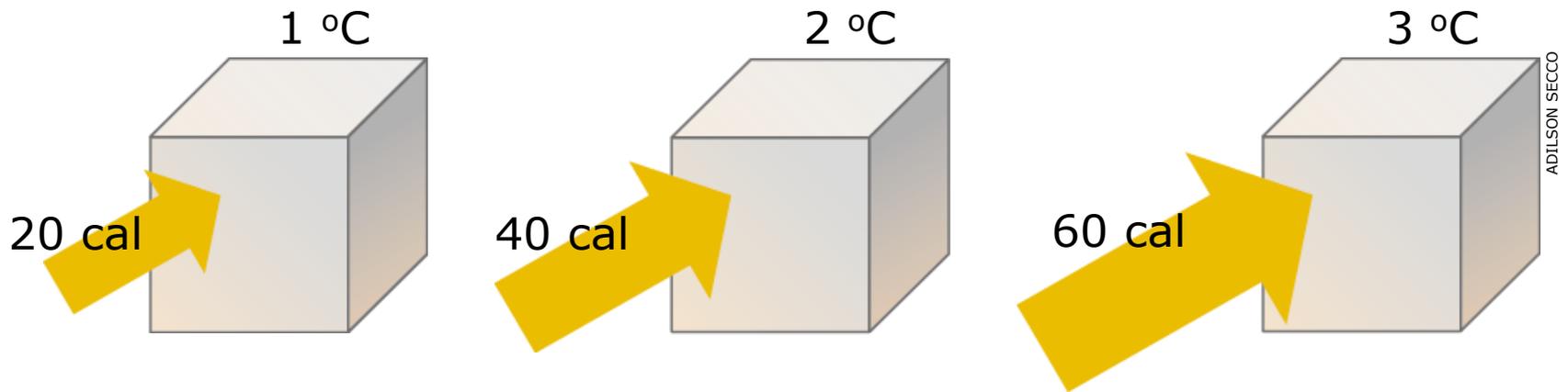
The diagram illustrates the units for the thermal capacity formula  $C = \frac{Q}{\Delta\theta}$ . Red arrows point from the variables to their units:  $C$  is labeled as  $\text{cal}/^{\circ}\text{C}$ ,  $Q$  is labeled as  $\text{cal}$ , and  $\Delta\theta$  is labeled as  $^{\circ}\text{C}$ .

# 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.

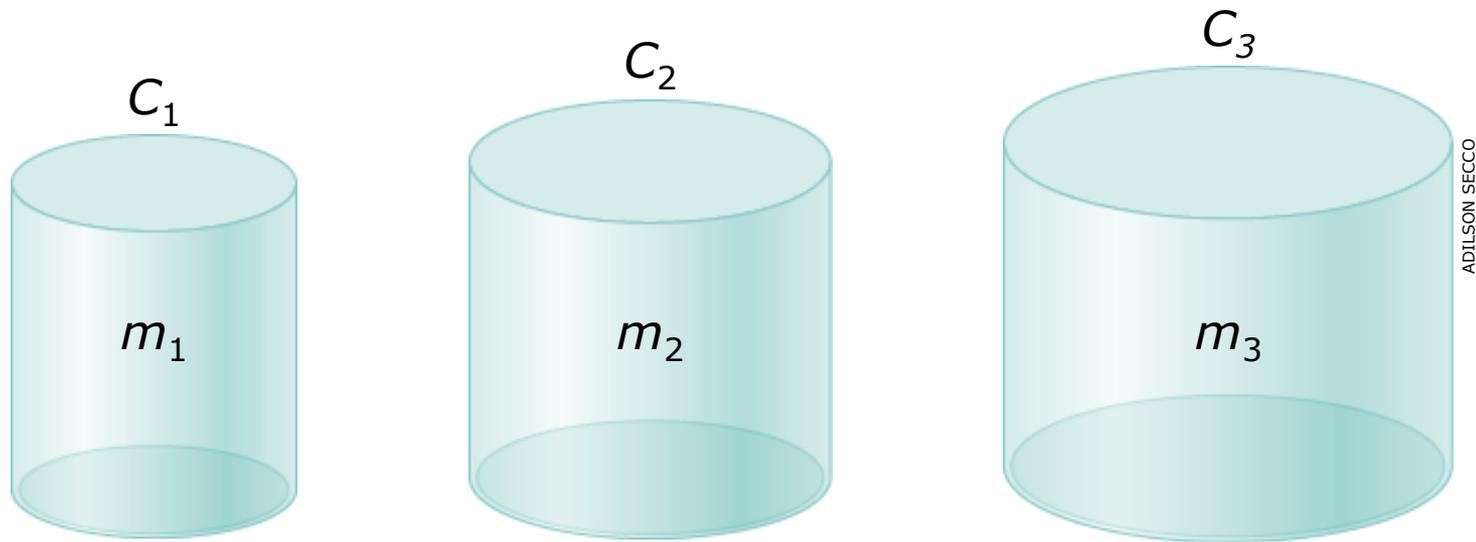
# Calor específico

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

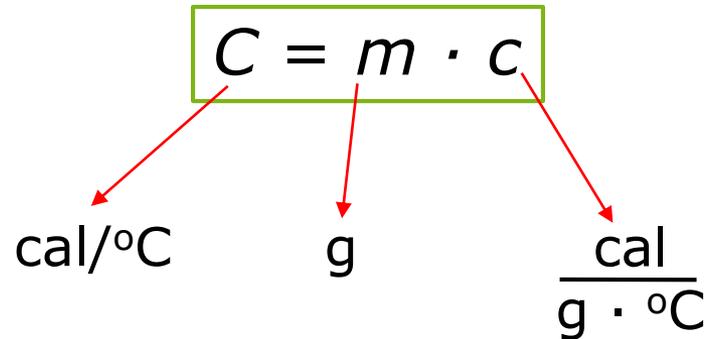
$$C = m \cdot c$$


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

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

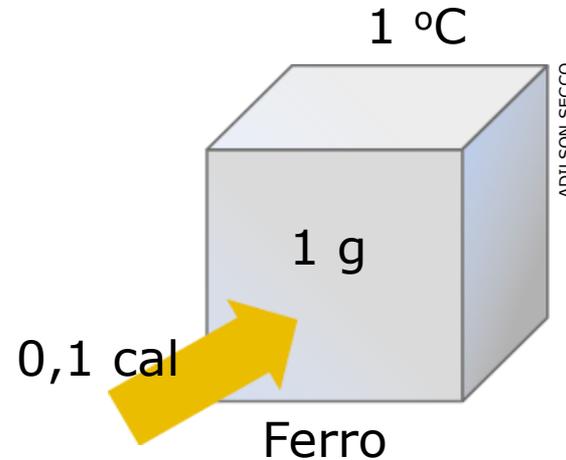
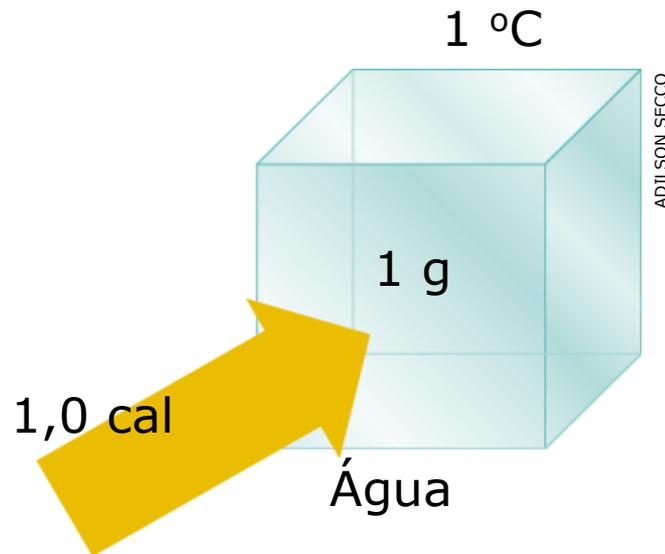
O calor específico de um material indica a quantidade de calor que uma massa unitária desse material deve receber (ou ceder) para sofrer uma variação unitária de temperatura.

# 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:

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

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

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

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:

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

**Calor recebido é positivo.**

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

Assim:

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

**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**.

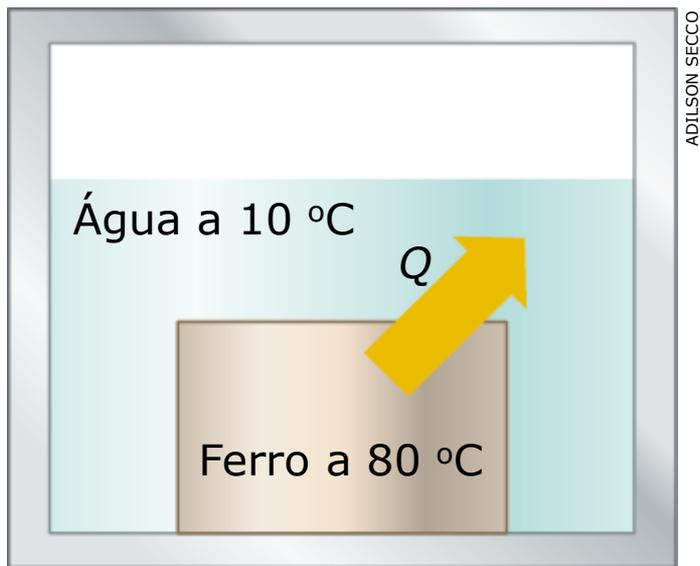
# Princípio geral das trocas de calor

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

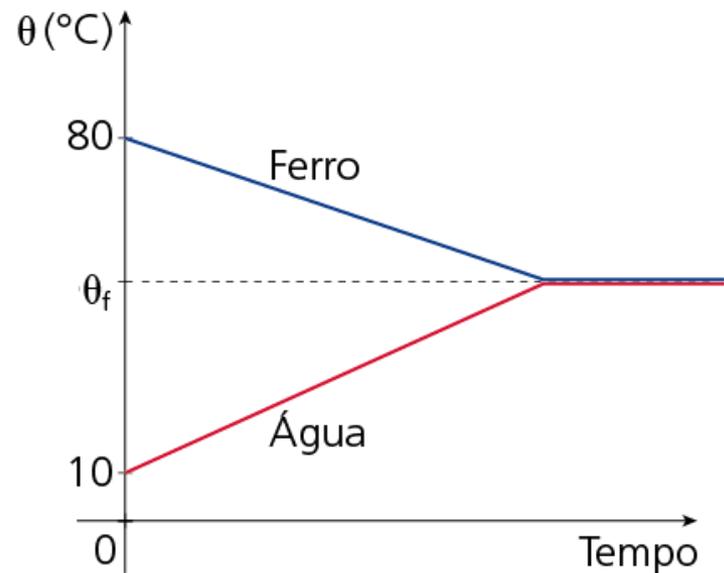
**Calorímetro ideal:** calorímetro cuja capacidade térmica é desprezível  $\left(C_{\text{ideal}} = 0 \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}}\right)$ ; desse modo, ele pode variar sua temperatura praticamente sem receber ou ceder calor.

# 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