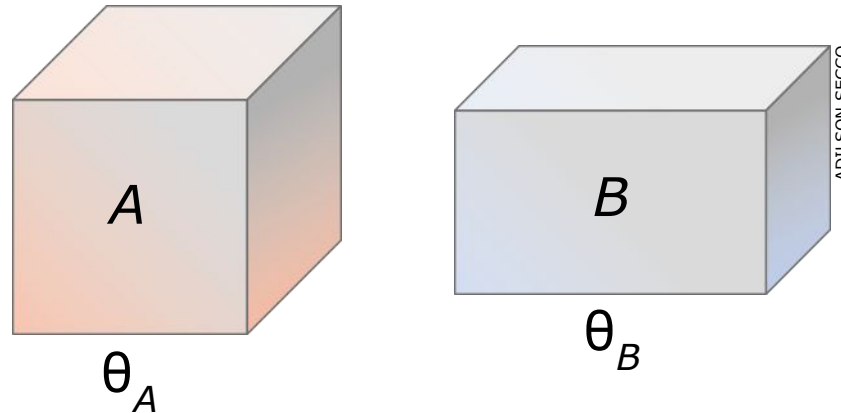


Calorimetria

Calorimetria

Conceito de calor

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

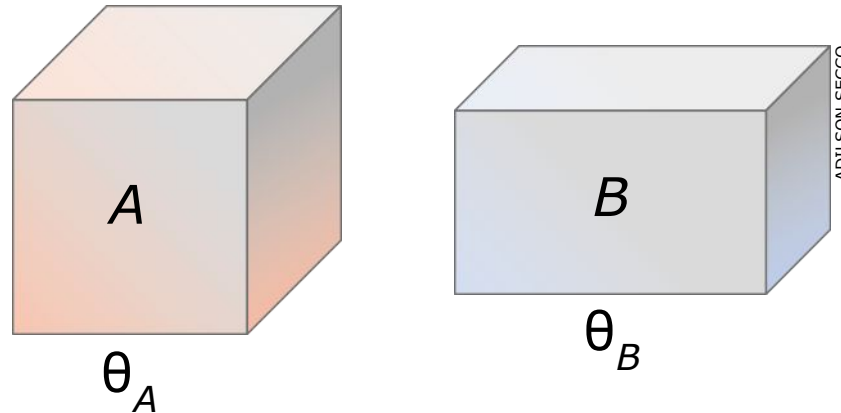


Calorimetria

Conceito de calor

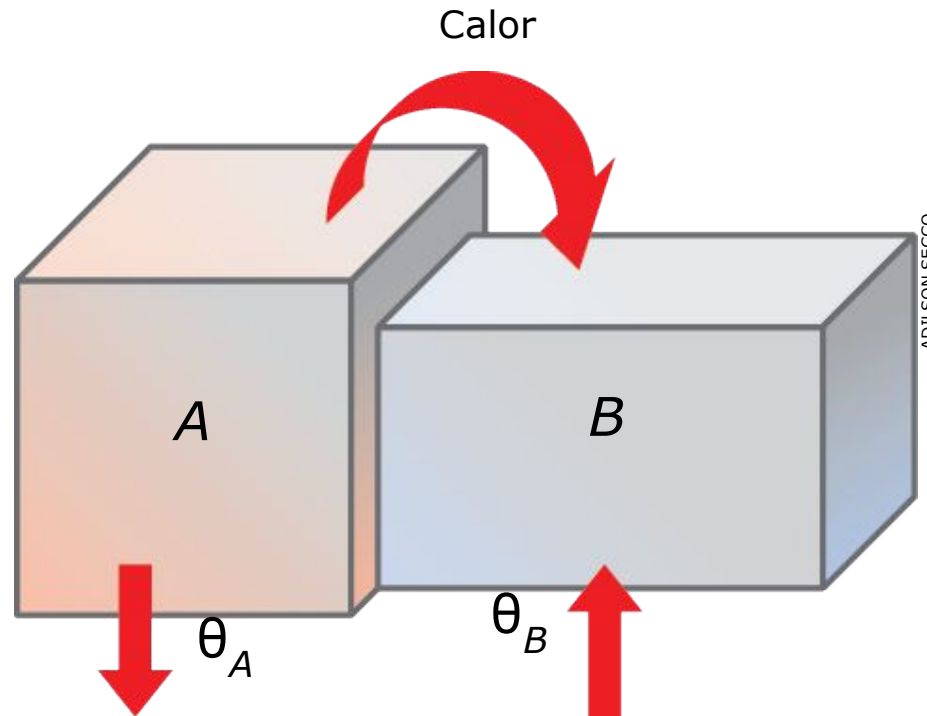
De início, o corpo *A* está “mais quente” que o corpo *B*.

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



Calorimetria

Conceito de calor



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 θ_f .

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

Portanto:

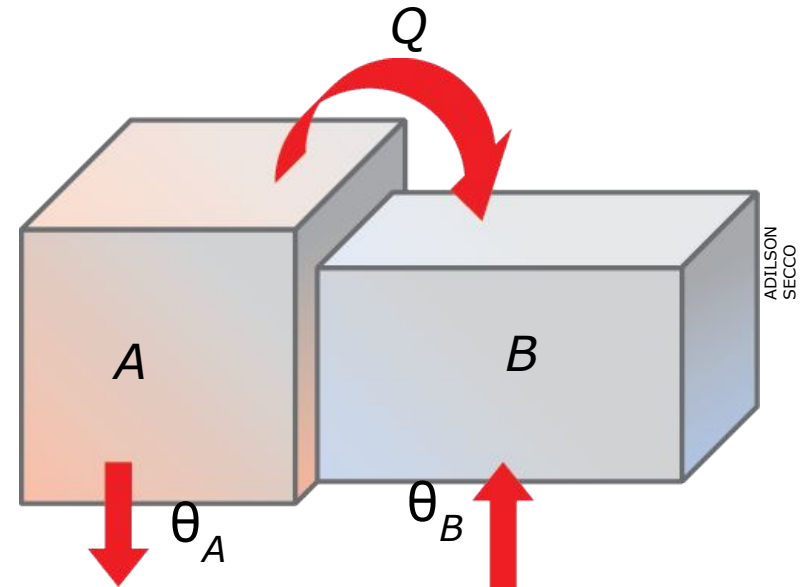
Calor é energia térmica **em trânsito** entre corpos a temperaturas diferentes.

Calorimetria

Conceito de calor

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

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

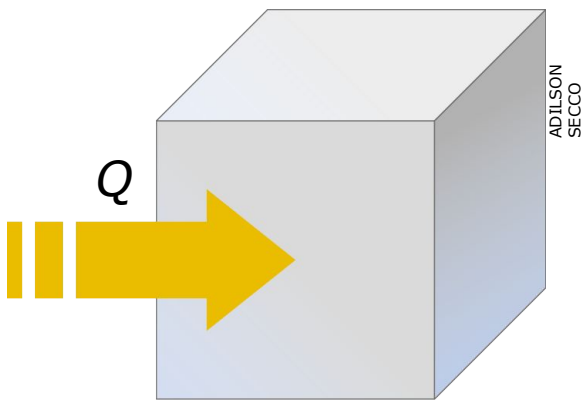
Para a água, por exemplo:

$\theta_{\text{fusão}} = 0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (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.



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

ou

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

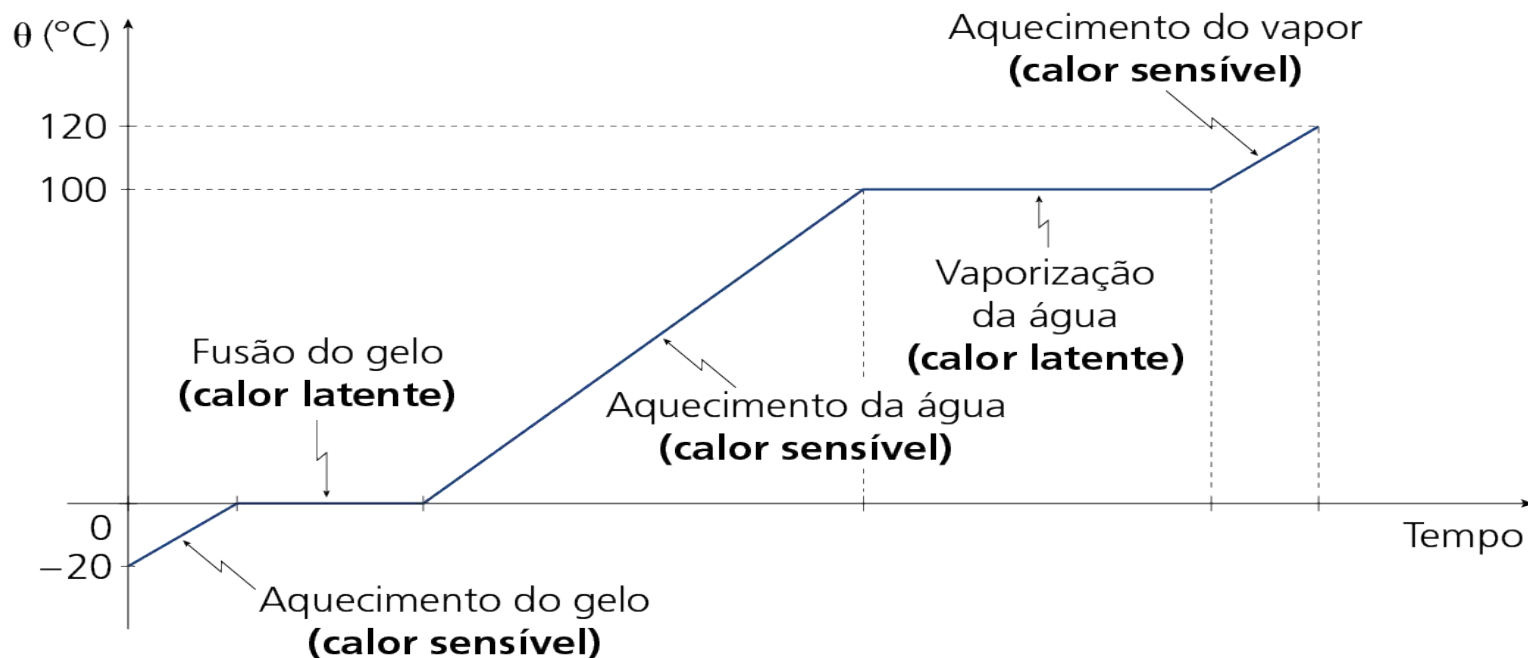
Calor sensível e calor latente

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:



O diagrama **não** está em escala.

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.

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

cal

°C

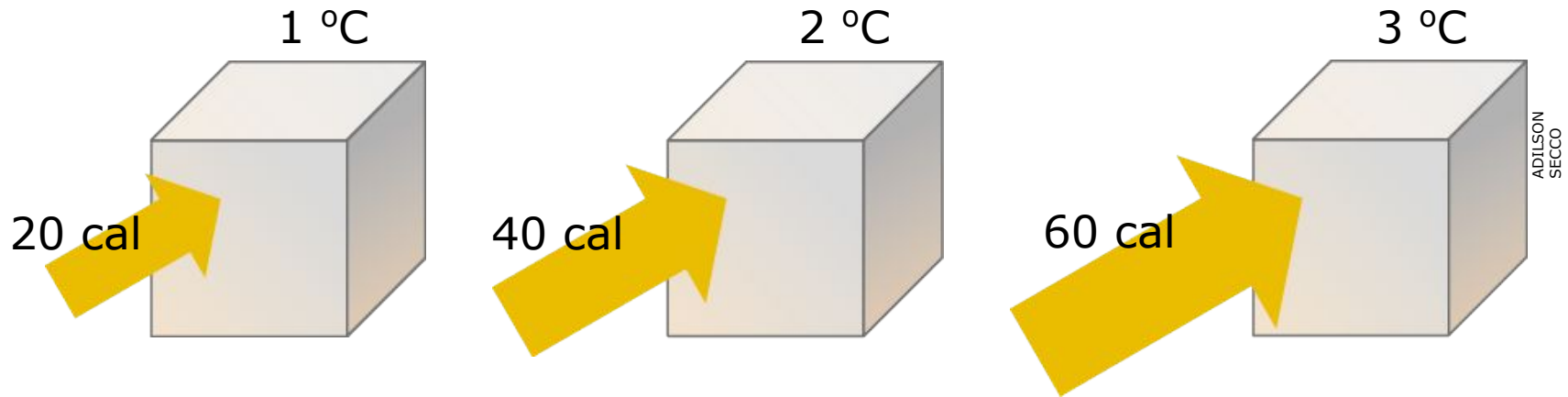
cal/°C

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 cal para sua temperatura aumentar (ou diminuir) em 1°C .

Capacidade térmica

Então:



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

Calor específico

O corpo de maior capacidade térmica C é, também, o corpo de maior massa m , pois quanto maior é a massa do corpo, maior é a quantidade de energia necessária para elevar a sua temperatura. Assim:

$$C \propto m$$

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

$$C = m \cdot c$$

cal/°C g $\frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}}$

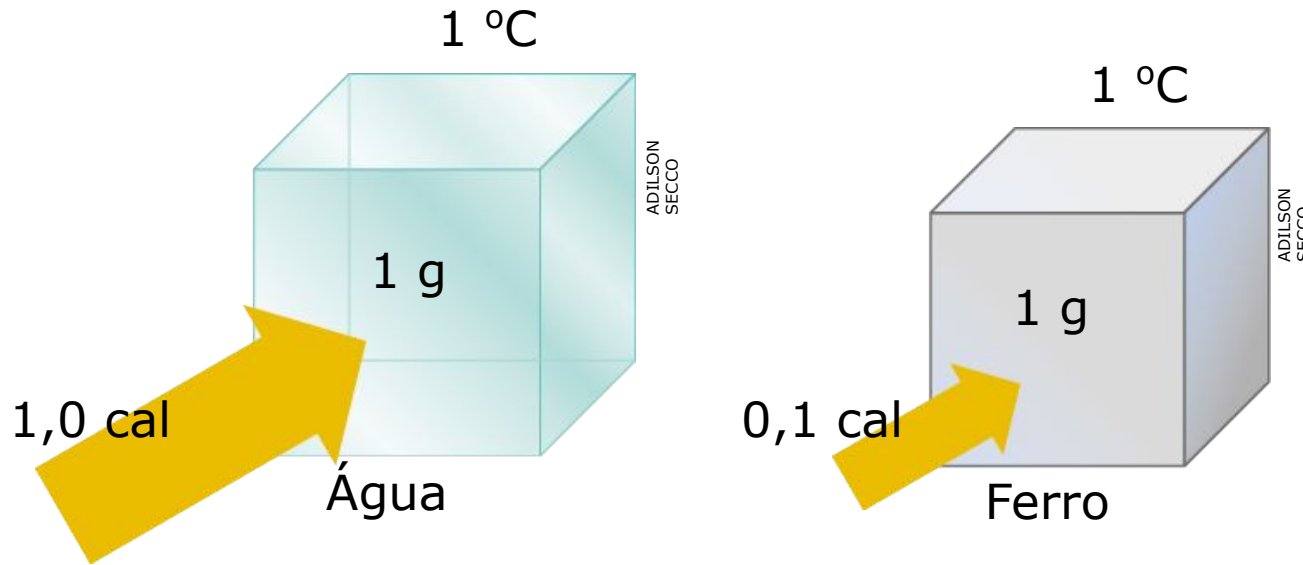
O calor específico de um material indica a quantidade de calor que uma massa unitária desse material deve receber (ou ceder) para sofrer uma variação unitária de temperatura.

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:

$$C = \frac{Q}{\Delta T} \Rightarrow Q = C \cdot \Delta T$$

(I)

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

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

Substituindo II em I, resulta:

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

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

cal g $\frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}}$ $^\circ\text{C}$

(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**.

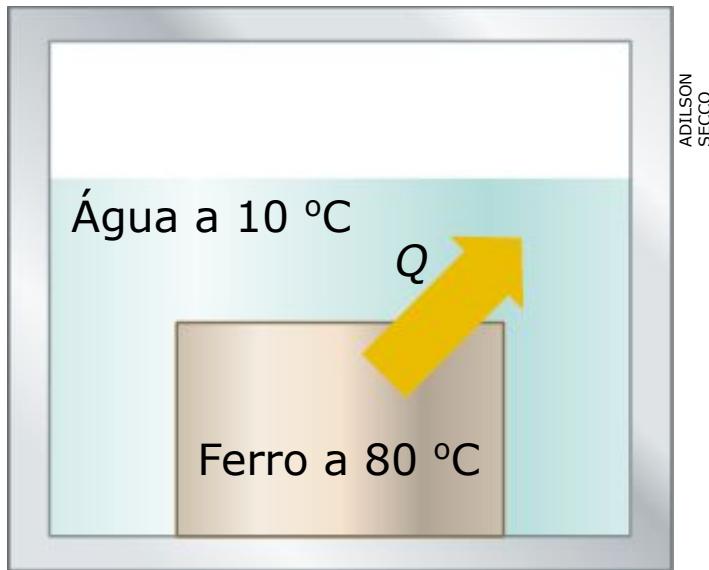
Princípio geral das trocas de calor

Calorímetro: recipiente no qual são realizadas trocas de calor.

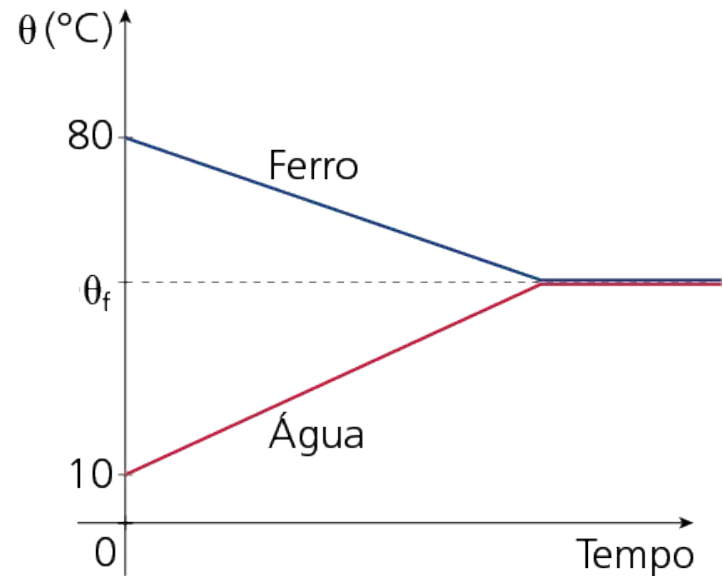
Calorímetro ideal: calorímetro cuja capacidade térmica é desprezível $(C_{\text{ideal}} = 0 \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}})$; desse modo, ele pode variar sua temperatura praticamente sem receber ou ceder calor.

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: $ma \cdot ca \cdot \Delta\theta_a + mf \cdot cf \cdot \Delta\theta_f = 0$

$$ma \cdot ca \cdot (\theta_f - \theta_i)_a + mfe \cdot cfe \cdot (\theta_f - \theta_i)_{fe} = 0$$

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

(Princípio geral das trocas de calor)



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.

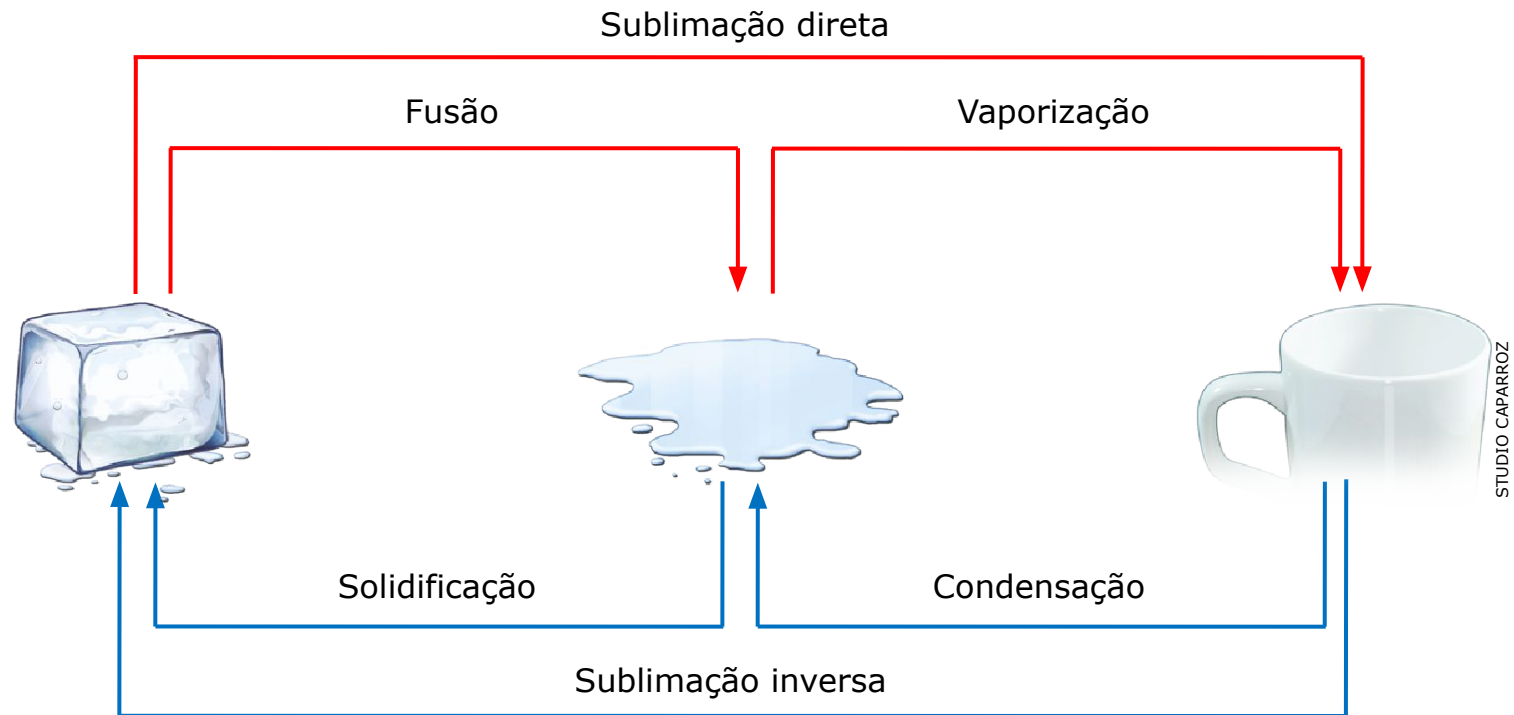
Mudanças de estado

Estados físicos da matéria

As mudanças de um estado para outro recebem nomes específicos.

Mudanças de estado

Estados físicos da matéria



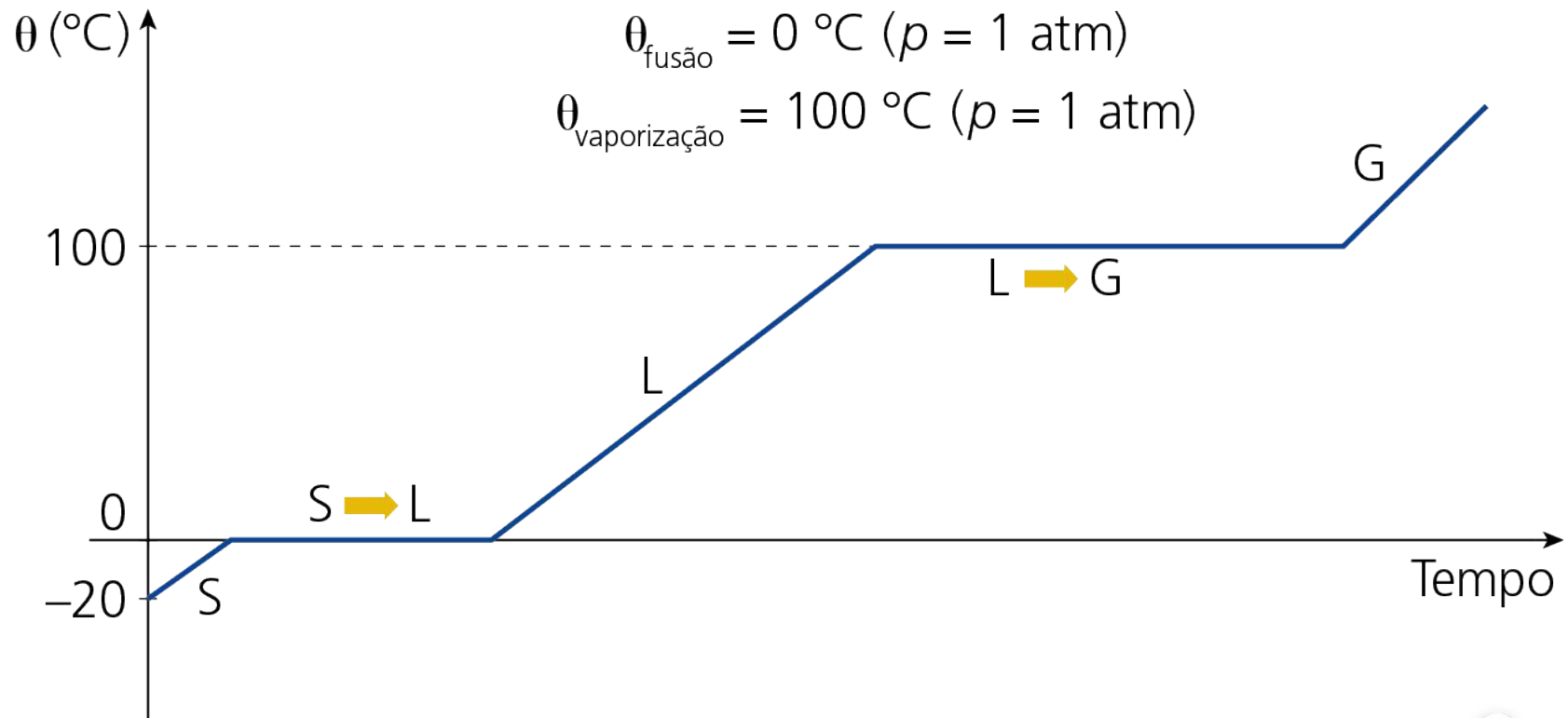
→ Mudanças que ocorrem com recebimento de calor

→ Mudanças que ocorrem com rejeição (perda) de calor

Curvas de aquecimento e resfriamento de uma substância pura

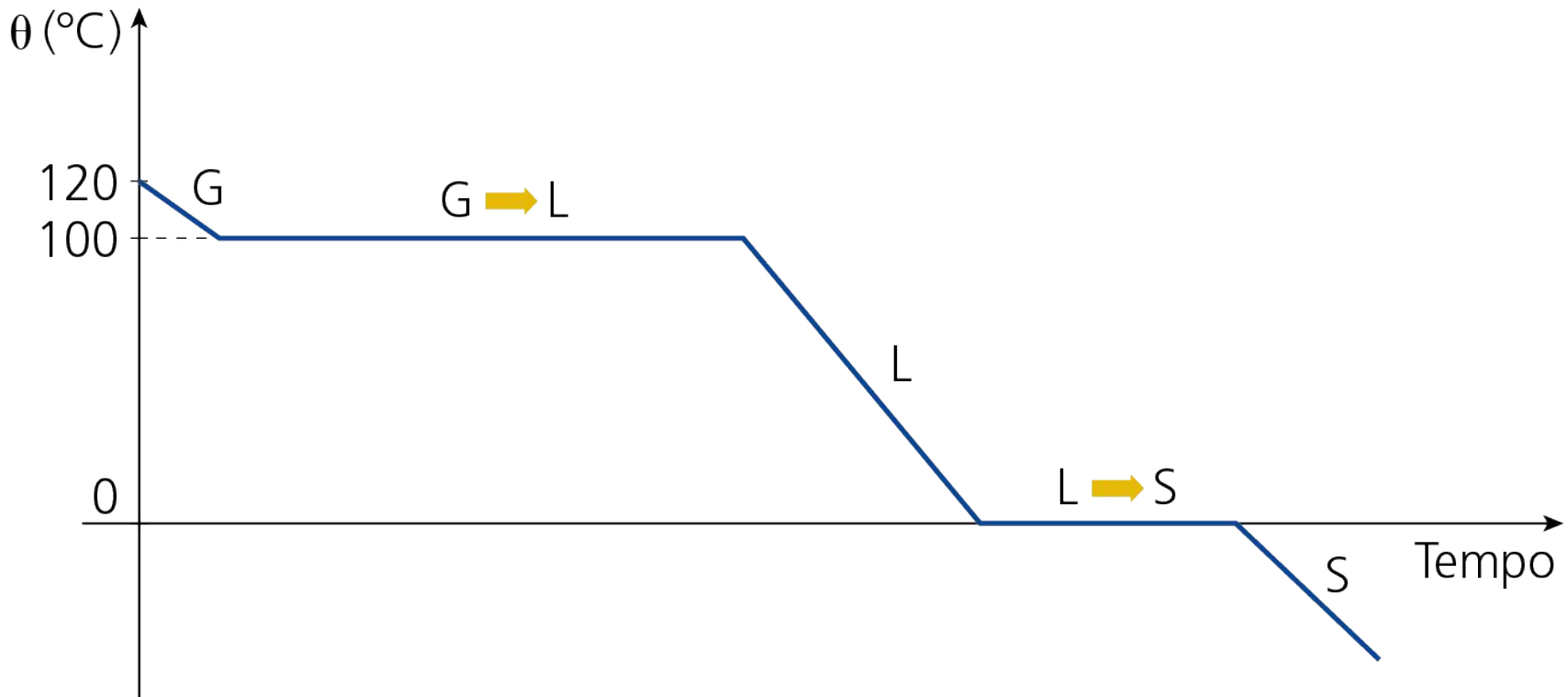
Para cada valor de pressão, as substâncias puras possuem ponto de fusão e ponto de ebulição constantes e definidos. Por exemplo, para a água, temos as seguintes curvas de aquecimento e resfriamento:

Curvas de aquecimento e resfriamento de uma substância pura



Curva de aquecimento

Curvas de aquecimento e resfriamento de uma substância pura



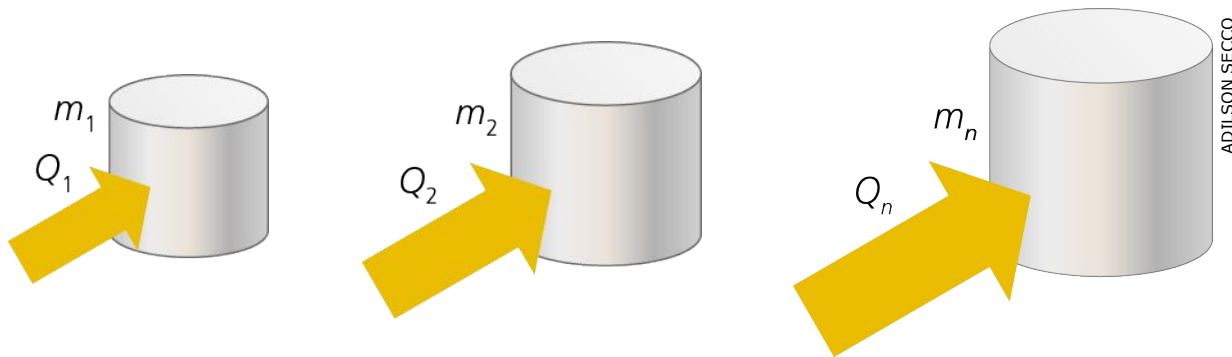
Curva de resfriamento

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:

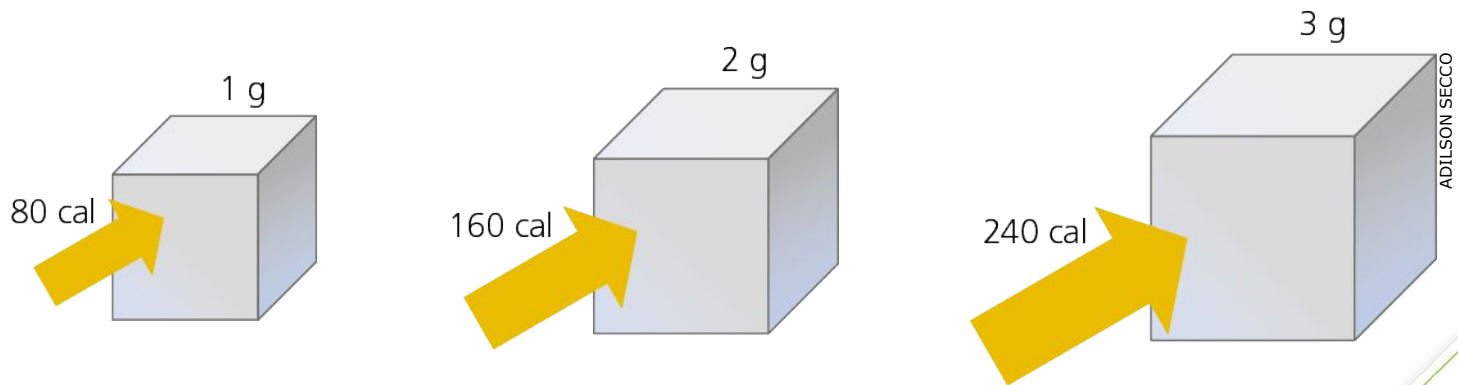
$$Q = m \cdot L$$

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

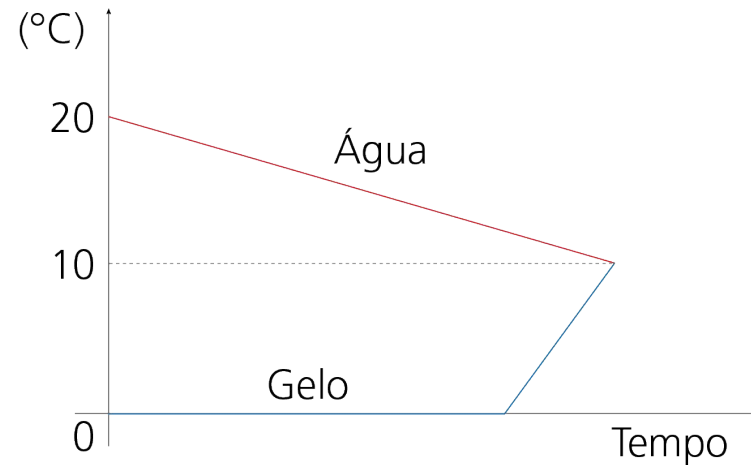
Um copo contém 300 g de água a 20 °C. Quantos gramas de gelo a 0 °C devemos colocar nessa água para que, no final, tenhamos apenas água a 10 °C?

Dados:

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

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

Trocas de calor com mudanças de estado físico



$$Q_{\text{gelo;latente}} + Q_{\text{gelo;sensível}} + Q_{\text{água;sensível}} = 0$$

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

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

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 θ e de pressão p que determinam se a substância está no estado sólido; outros infinitos pares (θ, p) que determinam se ela está no estado líquido; e, ainda, mais infinitos pares (θ, p) que determinam se ela está no estado gasoso.

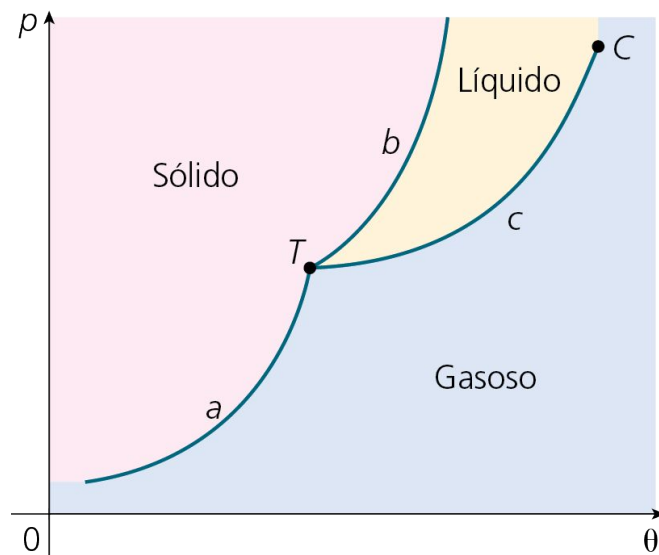
Diagrama de fases

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

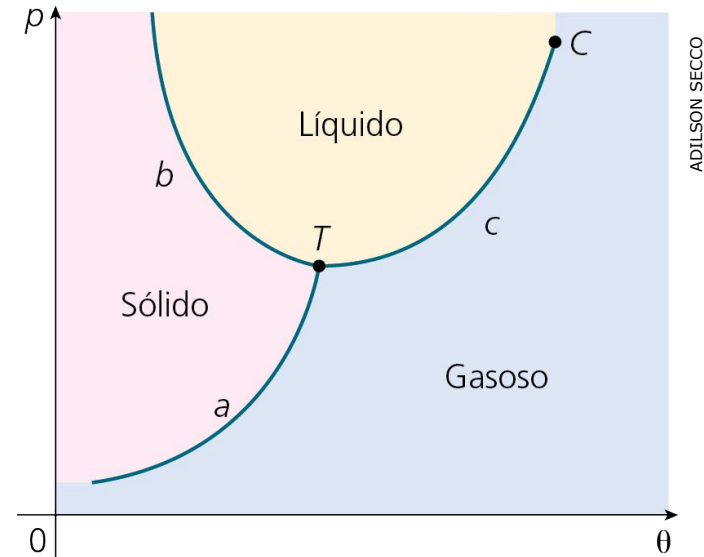
Diagrama de fases

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



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.

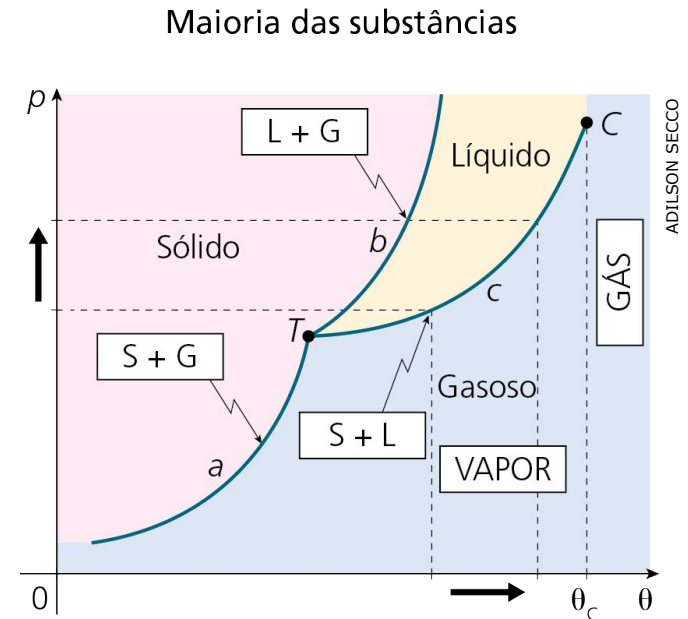


Diagrama de fases

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

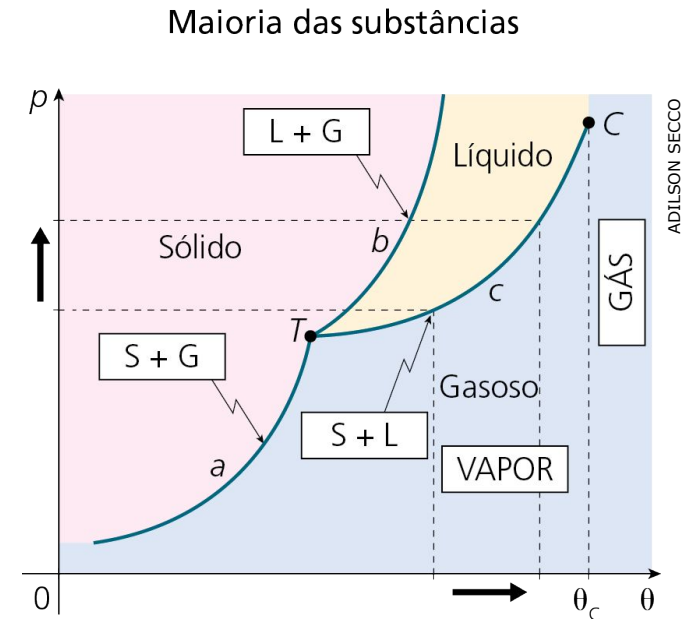


Diagrama de fases

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

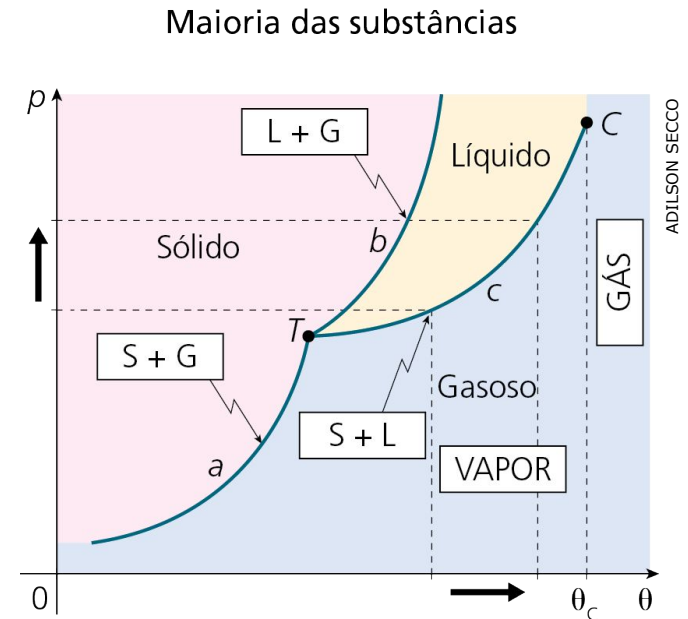


Diagrama de fases

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.

