



DIRETOR:

TURMA:

PROFESSOR:

TURNO:

DISCIPLINA:

DATA: / /

NOME:

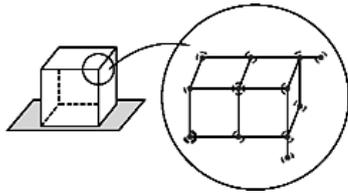
Nº:



## MUDANÇA DE ESTADO FÍSICO I

### 1. Introdução

Podemos encontrar uma substância em três fases distintas: sólida, líquida e gasosa. Por exemplo, encontramos a água na forma sólida (gelo), na forma líquida (água líquida) e na forma gasosa (vapor d'água).

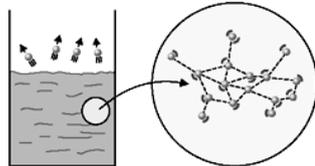


No estado sólido, as moléculas encontram-se muito próximas, com uma forte interação entre elas, que lhes permite ligeiras movimentações em torno de posições de equilíbrio.

Assim, devido a essas interações, elas ocupam posições determinadas, formando uma estrutura regular denominada *rede cristalina*. O sólido possui volume e forma definida.

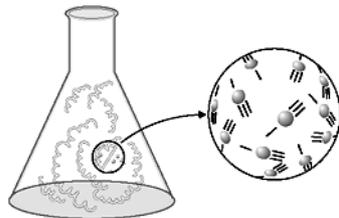
No estado líquido, as moléculas encontram-se mais afastadas umas das outras, porém existem entre elas forças apreciáveis. No entanto, essas interações são mais fracas que nos sólidos, o que confere aos líquidos um comportamento totalmente diferente do comportamento dos sólidos.

Devido à proximidade das moléculas do líquido, qualquer tentativa de compressão exige forças externas de grande intensidade, por isso dizemos que os líquidos têm compressibilidade muito pequena. A fraca interação entre as moléculas permite a elas uma movimentação maior que nos sólidos e explica o fato de o líquido possuir a forma do recipiente que o contém ou esparramar-se sobre um plano.

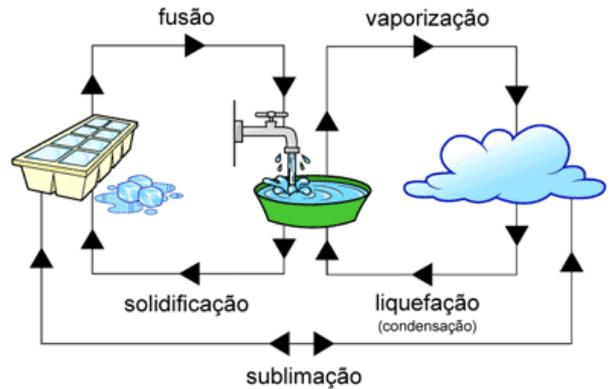


No estado gasoso, a distância entre as moléculas é muito grande quando comparada com suas dimensões. Por estarem muito afastadas umas das outras, a interação entre elas é praticamente desprezível, permitindo-lhes uma grande liberdade de movimentação.

Devido à grande distância entre as moléculas e interações praticamente desprezíveis, os gases possuem o volume e a forma do recipiente que os contém e sofrem compressões significativas sob ação de forças externas.



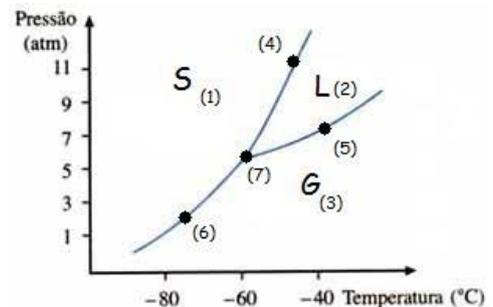
As possíveis mudanças de estado, quando uma substância recebe ou perde calor, estão esquematizadas abaixo:



Resumidamente a  *fusão*  é a passagem do estado sólido para o estado líquido, a  *vaporização*  é a passagem do estado líquido para o estado gasoso e a  *sublimação direta*  é a passagem do estado sólido para o gasoso sem passar pela fase líquida. Estas transformações ocorrem com absorção de calor e por isso são chamadas de  **transformações endotérmicas** . Os fenômenos inversos, que ocorrem com perda de calor, são chamados de  **transformações exotérmicas** : a  *condensação* , passagem do líquido para o sólido, a  *solidificação* , passagem do líquido para o sólido e a  *sublimação inversa*  do gasoso para o sólido sem passar pelo estado líquido.

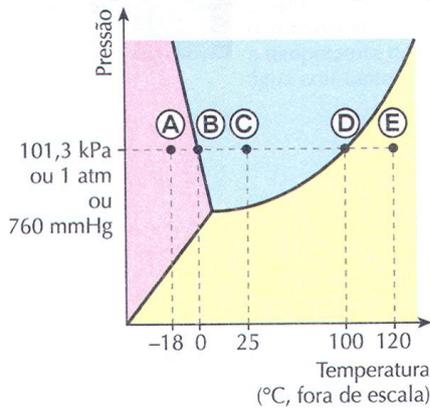
**2. Mudança de estado físico:** Qualquer substância pode mudar de estado físico ao se  *alterar*  as condições de  *pressão e/ou temperatura* .

O gráfico que representa as fases da matéria em função da pressão e da temperatura é chamado de  diagrama de fases .



- (1) substância no estado sólido.
- (2) substância no estado líquido.
- (3) substância no estado gasoso.
- (4) curva de fusão/solidificação - coexiste a fase sólido e líquido.
- (5) curva de ebulição/condensação - coexiste a fase líquido e gasoso.
- (6) curva de sublimação- coexistem as fases sólido e gasoso.
- (7) ponto tripla ou tríplice → coexistem as 3 fases.

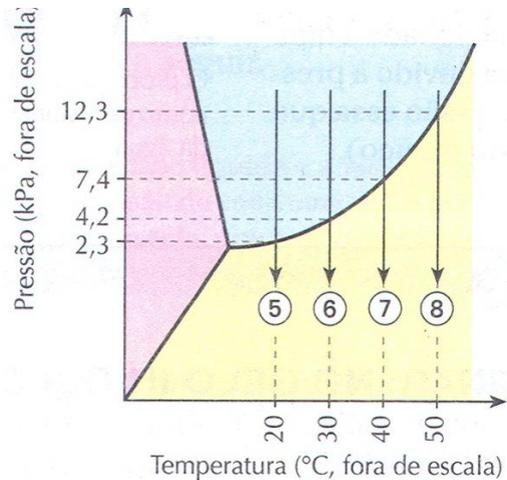
**- Mudança de fase sob pressão constante:** Vamos usar como exemplo o diagrama de fases da água (figura).



Considere uma amostra de gelo sobre uma pressão constante de 1 atm ou 760mmHg (pressão atmosférica normal) e inicialmente a temperatura de -18°C, representada pelo ponto (A). Se essa amostra recebe energia térmica a partir do ponto (A) a sua temperatura aumentará até atingir o ponto (B) localizado na curva de fusão. A partir daí se a substância continuar a receber calor ao invés da temperatura aumentar ela se manterá constante, e progressivamente o gelo vai se transformando em água (a energia aqui não aumenta a energia cinética média molecular e sim serve para “desmontar” a estrutura cristalina transformando-a em líquido). Depois de todo o processo haverá somente líquido a 0 °C e a partir daí a temperatura começará a subir novamente passando pelo ponto (C) até atingir o ponto (D) localizado na curva de vaporização. Neste ponto, prosseguindo o aquecimento, novamente a temperatura permanecerá constante ocorrendo a progressiva transformação do líquido em vapor. Durante o tempo que durar a vaporização, a temperatura permanecerá constante em 100°C. Só após terminada a ebulição, e o aquecimento continuar, será atingido o ponto (E), que representa vapor de água, a 1 atm e 120°C. Se procedêssemos de forma inversa, resfriando o vapor de água do ponto (E) até o ponto (A), ocorreria a condensação do vapor em (D). E o líquido proveniente dessa condensação iria se solidificar no ponto (B).

As setas mostradas no diagrama de fases ilustrado (figura) representam os resultados experimentais (1) a (4). Em cada um dos casos, a amostra de água está submetida a um valor diferente de pressão, que se mantém constante durante o aquecimento. Nesses processos, a ebulição ocorre quando se cruza horizontalmente a linha que separa as regiões de líquido e vapor. E esse cruzamento, como se pode perceber, ocorre em diferentes valores de temperatura. Na prática, uma situação como (1), ocorre dentro de uma panela de pressão, que é projetada para reter parte do vapor de água, produzindo um aumento da pressão interna e, conseqüentemente, um aumento da temperatura de ebulição da água. (esse aumento da temperatura da água fervente acelera o cozimento dos alimentos e torna, portanto, a panela de pressão mais rápida e econômica.) Situações como (3) e (4) ocorrem em locais cuja altitude seja superior ao nível do mar, pois neles a pressão atmosférica é menor que ao nível do mar.

Obs.: À medida que nos dirigimos para localidades de maior altitude, constatamos que a temperatura de ebulição da água diminui graças à redução da pressão ambiente.



Os resultados (5) a (8) são representados pelas setas no diagrama de fases. Esses processos referem-se à ebulição da água provocada por redução de pressão, a temperatura constante. Perceba que, em cada um desses quatro casos, o cruzamento da linha que separa água líquida do vapor de água ocorre em uma diferente pressão, o que é decorrente do fato de, em cada caso, a amostra de água ser mantida a uma diferente temperatura.

Regra: a temperatura de mudança de estado é tanto mais alta quanto mais elevada e a pressão sob a qual se realiza.

**2. Calor Latente:** Sabemos que uma das maneiras de uma substância mudar de estado físico é pela transferência de calor (absorção ou perda).

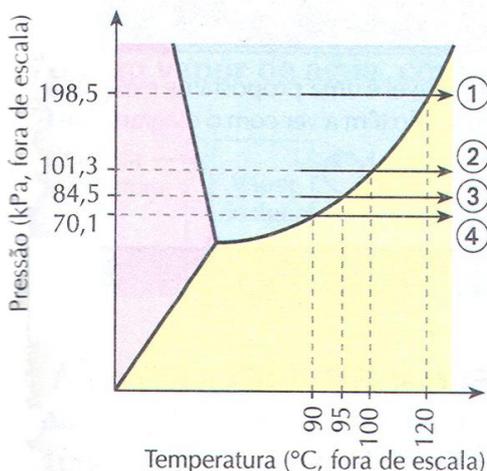
O Calor latente é a quantidade de calor necessária que uma unidade de massa de determinada substância deve receber ou perder para sofrer uma mudança de estado físico.

$$Q = m \cdot L$$

Unidade usual do calor latente: cal/g.  
Unidade SI: J/Kg.

Regra: durante a mudança de estado físico a temperatura não altera, ela se mantém constante.

**- Influencia da pressão na mudança de estado:**



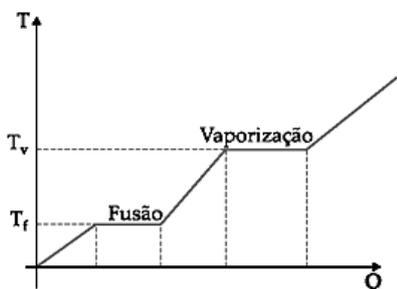
Por exemplo, para a água pura o calor latente de fusão é 80 cal/g, e o calor latente de vaporização é 540 cal/g. Isso significa que para cada 1 g de água passar para o estado líquido é necessário o fornecimento de 80 calorias e para o processo de vaporização é necessário 540 calorias para cada 1g passar do estado líquido para o gasoso. Para o processo inverso, em que a substância precisa perder calor para mudar de fase, os valores dos calores latentes são negativos, o que para a água seria - 80 cal/g para a solidificação e - 540 cal para a condensação.

**3. Curvas de aquecimento e resfriamento:** Vimos pelo diagrama de fases que quando um sólido é aquecido, sob pressão constante, suas moléculas recebem energia na forma de calor, vibram com mais intensidade e sua temperatura aumenta até um valor determinado (calor sensível). Continuando a receber calor, a sua temperatura permanece constante e toda a energia que ele recebe é utilizada na quebra das ligações moleculares, provocando uma mudança de fase (calor latente).

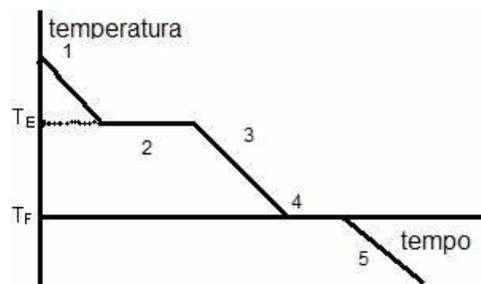
Depois que TODO o sólido transformou-se em líquido, a energia recebida aumenta a agitação molecular novamente, produzindo variação de temperatura, que aumenta novamente até um determinado valor, e volta a permanecer constante. Continuando a receber calor, a energia recebida a partir desse momento é utilizada em uma nova mudança de forma física.

Após TODA a substância transformar-se do estado líquido para o estado de vapor, a energia recebida altera a agitação molecular e a temperatura volta a aumentar.

Podemos representar esse comportamento através de um gráfico denominado **curva de aquecimento**:



Da mesma forma, podemos repetir o processo no sentido inverso, ou seja, retirando calor de uma amostra gasosa. Inicialmente, a temperatura do vapor diminui à medida que retiramos energia, pois a agitação de suas moléculas também diminui. Isso ocorre até um determinado valor; a partir daí, a temperatura passa a ser constante e ocorre a mudança de forma física (mudança de fase). Após a completa transformação do gás em líquido, a agitação molecular volta a diminuir e a temperatura do líquido se reduz até um determinado valor, em que permanece novamente constante para ocorrer a mudança de forma física. Depois que todo o líquido se transformou em sólido, a temperatura volta a diminuir, diminuindo assim a agitação das moléculas do sólido. De uma forma geral, Podemos representar esse comportamento em um gráfico chamado **curva de resfriamento**.



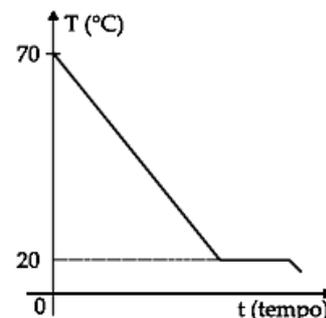
### Exercícios Resolvidos

01. O diagrama representa o resfriamento de um líquido de massa 200 g, cuja temperatura inicial é de 70 °C. É dado:

$$L_{\text{solidificação}} = 30 \text{ cal/g.}$$

Determine:

- temperatura de solidificação do líquido;
- a quantidade de calor cedida pelo corpo durante o processo de solidificação.



**Resolução:**

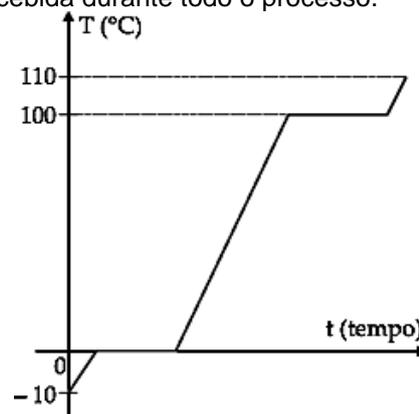
a) A solidificação ocorre no momento em que a temperatura do líquido passa a ser constante no tempo. No gráfico, observamos que isso ocorre à temperatura de 20 °C.

b) Durante a solidificação, a quantidade de calor cedida deve ser calculada por  $Q_{LS} = m \cdot L_s$ , portanto:

$$Q_{LS} = -200 \cdot 30$$

$$Q_{LS} = -6\,000 \text{ cal.}$$

02. O gráfico a seguir representa a curva de aquecimento de 50 gramas de água no estado sólido (gelo) à temperatura inicial de - 10 °C. Sabendo que o  $c_{\text{água}} = 1,0 \text{ cal/g} \cdot \text{°C}$ ,  $c_{\text{gelo}} = 0,5 \text{ cal/g} \cdot \text{°C}$ ,  $L_{\text{fusão}} = 80 \text{ cal/g}$ ,  $L_{\text{vapor}} = 540 \text{ cal/g}$  e  $c_{\text{vapor}} = 0,5 \text{ cal/g} \cdot \text{°C}$ , determine a quantidade de calor recebida durante todo o processo.



**Resolução**

1ª) De - 10 °C a 0 °C o gelo recebe calor sensível, pois varia a sua temperatura sem mudar o estado físico.

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

$$Q_{S1} = 50 \cdot 0,5 \cdot (0 - (-10))$$

$$Q_{S1} = 250 \text{ cal.}$$

2ª) A 0 °C a água sofre a primeira mudança de estado (fusão) e recebe calor latente, pois, com o passar do tempo, a temperatura permanece constante.

$$Q = m \cdot L$$

$$Q_L = 50 \cdot 80$$

$$Q_L = 4\,000 \text{ cal.}$$

3ª) De 0 °C a 100 °C a água recebe calor sensível, pois varia a sua temperatura.

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

$$Q_{S2} = 50 \cdot 1 \cdot (100 - 0)$$

$$Q_{S2} = 5\,000 \text{ cal.}$$

4ª) A 100 °C a água sofre a segunda mudança de estado (vaporização), pois a temperatura permanece constante com o passar do tempo.

$$Q = m \cdot L$$

$$Q_{LV} = 50 \cdot 540$$

$$Q_{LV} = 27\,000 \text{ cal.}$$

5ª) De 100 °C a 110 °C o vapor d'água recebe calor sensível, pois a sua temperatura varia com o tempo.

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

$$Q_{S3} = 50 \cdot 0,5 \cdot (110 - 100)$$

$$Q_{S3} = 250 \text{ cal.}$$

Logo, a quantidade de calor total recebida pela água é:

$$Q_T = Q_{S1} + Q_{Lf} + Q_{S2} + Q_{LV} + Q_{S3}$$

$$Q_T = 250 + 4\,000 + 5\,000 + 27\,000 + 250$$

$$Q_T = 36\,500 \text{ cal.}$$

### Exercícios Propostos

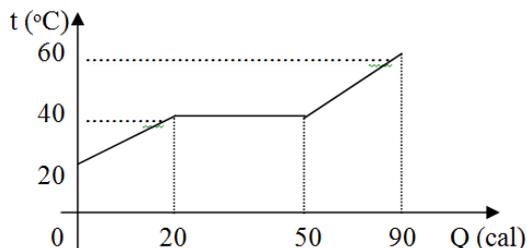
01. Qual a quantidade de calor que 50 g de gelo a -20° C precisam receber para se transformar em água a 40° C? Dado:  $c_{\text{gelo}} = 0,5 \text{ cal/g} \cdot \text{°C}$ ;  $c_{\text{água}} = 1 \text{ cal/g} \cdot \text{°C}$ ; é  $L_F = 80 \text{ cal/g}$ .

02. Têm-se 20 g de gelo a -10° C. Qual a quantidade de calor que se deve fornecer ao gelo para que ele se transforme em água a 20° C? Dado:  $c_{\text{gelo}} = 0,5 \text{ cal/g} \cdot \text{°C}$ ;  $c_{\text{água}} = 1 \text{ cal/g} \cdot \text{°C}$ ; é  $L_F = 80 \text{ cal/g}$ .

03. Quanto de calor será necessário para levar 100 g de água a 50° C para vapor d' água a 100° C?  $L_V = 540 \text{ cal/g}$ .

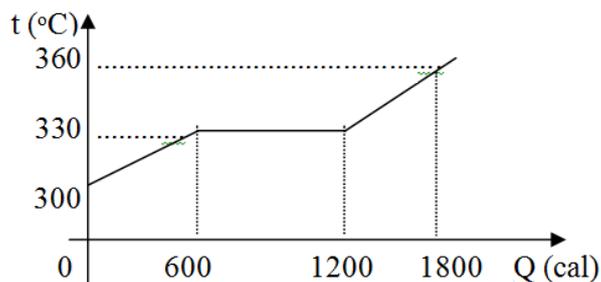
04. Que quantidade de calor se exige para que 200 g de gelo a -40° C se transformem em vapor d'água a 100° C?  $L_V = 540 \text{ cal/g}$ .

05. O gráfico representa a temperatura de uma amostra de massa 20g de determinada substância, inicialmente no estado sólido, em função da quantidade de calor que ela absorve. Pede-se: (a) a temperatura de fusão da substância; (b) o calor latente de fusão da substância.

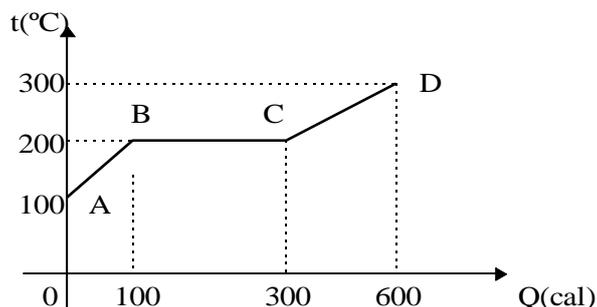


06. O gráfico abaixo representa a temperatura de uma amostra de 100g de determinado metal, inicialmente no

estado sólido, em função da quantidade de calor que ela absorve. Pede-se: (a) a temperatura de fusão do metal; b) o calor latente de fusão do metal.



07. Um corpo, inicialmente sólido, de massa 80g, recebe calor e sofre variação de temperatura conforme indica o gráfico:



Pede-se: (a) a temperatura de fusão da substância; (b) o calor latente de fusão do corpo; (c) o calor específico do corpo no estado sólido; (d) o calor específico no estado líquido; Resp. (a) 200°C; (b) 2,5 cal/g ; (c) 0,012 cal/g°C; (d) 0,037 cal/g°C.

08. Uma amostra de gelo, de 0,2 kg, está a -20 °C à pressão atmosférica normal. (a) Determine a quantidade de calor necessária para transformar essa amostra de gelo em vapor a 120 °C; (b) Construa o gráfico T x Q dessa transformação. Resp.:(a) 200 °C.