

Sabe-se que a temperatura de ebulição da água, em uma panela sem tampa, é função da pressão atmosférica local. Observe a seguir a temperatura de ebulição da água em diferentes pressões. Ao nível do mar (altitude zero), a pressão atmosférica vale 76 cmHg e ela diminui 1,0 cmHg para cada 100 metros que aumentamos na altitude.

Pressão (em cmHg)	64	68	72	76	80	84
Temperatura (em °C)	95	97	98	100	102	103

Pressão (em cmHg)	88	92	96	100	104	108
Temperatura (em °C)	105	106	108	109	110	111

Analise as afirmações.

I. Ao nível do mar, essa massa **m** de feijão irá demorar 40 minutos para cozinhar.

II. O Mar Morto encontra-se aproximadamente 400 metros abaixo do nível dos mares (altitude – 400 m). Nesse local, o mesmo feijão demoraria 30 minutos para cozinhar.

III. O tempo de cozimento desse feijão seria de 1,0 hora em um local de altitude aproximadamente igual a 1,0 km.

IV. Se esse feijão estivesse no interior de uma panela de pressão fechada, cuja válvula mantém a pressão interna a 1,42 atm (1,0 atm equivale a 76 cmHg), independentemente do local, o tempo de cozimento seria de aproximadamente 10 minutos.

É (são) verdadeira(s):

- somente I.
- somente I e III.
- somente I, II e IV.
- somente II, III e IV.
- I, II, III e IV.

11. SUBLIMAÇÃO

Sólidos cristalinos podem liberar vapor de modo bastante lento em diversas temperaturas. É o caso, por exemplo, de cristais de naftalina sob condições normais de pressão e temperatura. Esse processo é semelhante ao da evaporação de um líquido.

Se, porém, a pressão máxima de vapor do cristal iguala-se à pressão externa, essa liberação de vapor passa a ser bastante rápida. Esse processo é, de certo modo, análogo à ebulição de um líquido.

Os dois processos citados são tipos de **sublimação**. Daqui por diante, porém, quando falarmos em sublimação, estaremos nos referindo sempre ao segundo processo citado, isto é, ao caso em que a pressão máxima de vapor iguala-se à pressão externa.

É importante lembrar que a **sublimação** é a passagem do estado físico sólido para o gasoso ou vice-versa, sem que a substância passe pela fase líquida.



No prato da fotografia observamos um bloco de CO₂ no estado sólido, popularmente chamado de **gelo-seco**. Nas condições de pressão normal, ele absorve energia do meio e sublima, passando direto do estado sólido para o gasoso, sem passar pela fase líquida.

12. PONTO CRÍTICO E PONTO TRIPLO

Ponto crítico

O estado gasoso é constituído de vapores e gases. Qual é a diferença entre um vapor e um gás?

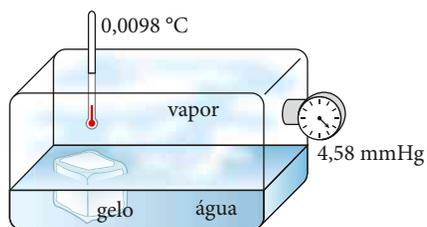
Uma substância no estado gasoso é denominada **gás** quando, à temperatura constante, é impossível levá-la ao estado líquido, por maior que seja a pressão exercida sobre ela. O **vapor**, ao contrário, é a substância no estado gasoso que, à temperatura constante, pode sofrer liquefação por aumento de pressão.

A situação-limite entre vapor e gás é definida por uma temperatura denominada **temperatura crítica**, que, em conjunto com um valor de pressão (pressão crítica), determina o **ponto crítico**.

É importante fixar que acima da temperatura crítica a substância é denominada gás, não podendo ser liquefeita por simples compressão isotérmica. Para a água, por exemplo, a pressão crítica corresponde a 218 atm e a temperatura crítica, a 374 °C.

Ponto triplo

O **ponto triplo** de uma substância é caracterizado por um valor de pressão e outro de temperatura sob os quais essa substância pode coexistir em equilíbrio nos estados físicos sólido, líquido e gasoso (vapor) simultaneamente.

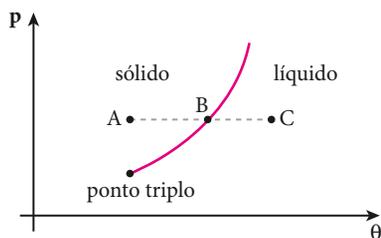


Para a água, o ponto triplo é definido pela temperatura de 0,0098 °C e pressão de vapor igual a 4,58 mmHg. Nessa situação física, podem coexistir o **gelo**, a **água** e o **vapor de água**, sem que ocorra mudança nas proporções relativas de qualquer um deles.

13. CURVA DE FUSÃO

Curva de fusão de um sólido cristalino é a representação gráfica da pressão ambiente (p) em função da temperatura de fusão (θ) do sólido. Há dois casos a considerar:

- Para a grande maioria das substâncias, o volume **umenta** com a fusão. Consequentemente, quanto maior é a pressão sobre o sólido, mais difícil é a sua fusão. Em outras palavras, quanto maior a pressão, maior é a temperatura que o sólido precisa atingir para fundir-se. É o que mostra a curva de fusão a seguir.



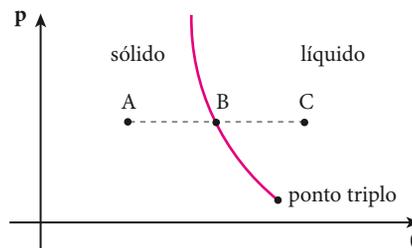
- A – Estado sólido.
- B – Equilíbrio das fases sólida e líquida.
- C – Estado líquido.

- Para algumas substâncias (exceções à regra geral), como a água, o bismuto, o ferro e o antimônio, o volume **diminui** com a fusão. Isso acontece porque as ligações químicas características do estado sólido determinam a existência de grandes vazios intermoleculares nesse estado. Com o desmoronamento da estrutura por ocasião da fusão, esses vazios são ocupados pelas próprias moléculas e, consequentemente, o volume diminui. Evidentemente, a solidificação dessas substâncias implica aumento de volume. É o que ocorre com a água presente no interior das células vegetais por ocasião das geadas: a água solidifica-se, aumentando seu volume e rompendo as membranas das células.

Para essas substâncias excepcionais, como a água, a fusão é facilitada pelo aumento de pressão, isto é,

quanto maior a pressão, menor a temperatura que o sólido precisa atingir para fundir-se.

É o que representa a curva de fusão abaixo.



- A – Estado sólido.
- B – Equilíbrio das fases sólida e líquida.
- C – Estado líquido.

Cada ponto da curva de fusão faz a correspondência entre uma temperatura de fusão (solidificação) e uma pressão. Assim, em cada um desses pontos, as fases sólida e líquida podem apresentar-se em equilíbrio: obtemos mais líquido quando fornecemos mais calor ao sistema e mais sólido quanto mais retiramos calor do sistema.

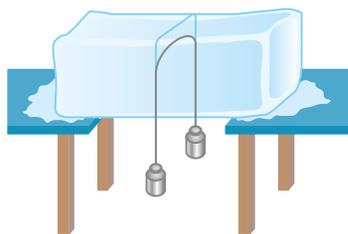
Na solidificação, a água (uma das exceções à regra geral) tem seu volume aumentado. Na fotografia, a garrafa de vidro se quebra quando a água em seu interior se solidifica.



Fábio Colominini

Como vimos, um aumento de pressão provoca uma diminuição na temperatura de fusão do gelo.

Com base nesse fato, o físico britânico John Tyndall (1820-1893) elaborou um experimento que recebeu seu nome. Ele apoiou as extremidades de uma barra de gelo a uma temperatura pouco inferior a 0 °C e colocou sobre ela, na parte central, um fio metálico, em cujas extremidades havia corpos de pesos convenientes.



Representação do experimento de Tyndall.

Ilustrações: CIT/Zapit

Após algum tempo, o fio atravessou a barra sem que ela fosse dividida. A explicação do fenômeno é o regelo.

Dá-se o nome de **regelo** ao fenômeno que consiste na ressolidificação da água por diminuição da pressão.

No experimento de Tyndall, o aumento de pressão provocado pelo fio diminui a temperatura de fusão do gelo, fazendo com que ele se funda. Para isso, a parte que sofre fusão retira calor das partículas que estão ao lado e que, no entanto, não tiveram acréscimo de pressão. Após a passagem do fio, o aumento de pressão é suprimido e a água no estado líquido devolve o calor “emprestado”, voltando ao estado sólido, o que constitui o regelo.

14. SOBREFUSÃO E SUPEREBULIÇÃO

Sobrefusão

No resfriamento de um líquido, eventualmente podem ser atingidas temperaturas abaixo da que corresponde à de solidificação da substância, e ainda assim a substância se manter líquida.

Na **sobrefusão** (ou **superfusão**), uma substância encontra-se no estado líquido abaixo da sua temperatura de solidificação.

A sobrefusão é um estado de equilíbrio metaestável (capaz de perder a estabilidade por meio de pequenas perturbações), ou seja, em que existe aparentemente equilíbrio, mas há uma passagem muito lenta para outro estado. Uma simples agitação, ou mesmo a introdução de uma pequena porção sólida, perturba o fenômeno e provoca uma brusca solidificação parcial ou total do líquido. A temperatura eleva-se até o ponto de solidificação. Essa elevação de temperatura é provocada pelo calor liberado pela parte do líquido que se solidifica (a solidificação é uma transformação exotérmica).

Superebulição

Nos procedimentos comuns de aquecimento de uma porção de água sobre a chama de um fogão ou em um forno a gás (ou elétrico), sob pressão normal, a ebulição acontece na temperatura de 100 °C. Mas se isso ocorre em um forno de micro-ondas, existe a possibilidade de a água atingir uma temperatura maior do que 100 °C sem ebulição.

Quando aquecemos água sobre a chama de um fogão, notamos que primeiro é aquecida aquela em contato com as paredes do recipiente, provocando as correntes de convecção, isto é, uma movimentação ascendente e descendente das partículas do líquido. Em um forno de micro-ondas sem prato giratório, esse aquecimento se dá de maneira quase igual, tanto para

as partículas das superfícies como para as do interior do líquido, de maneira que não produza as correntes de convecção. Dessa forma, temperaturas maiores do que a de ebulição podem ser atingidas sem alterações no estado metaestável (de precária estabilidade) do arranjo molecular da água. Porém, qualquer agitação do recipiente pode quebrar essa estabilidade, produzindo uma ebulição violenta.

Na **superebulição**, uma substância encontra-se no estado líquido acima da sua temperatura de ebulição.

Experimentalmente, observa-se que, para atingirmos esse estado de superaquecimento (quando o líquido se encontra a uma temperatura maior do que a sua temperatura de ebulição), é preciso utilizar um forno de micro-ondas sem o prato giratório (para não agitar o líquido), no interior de um recipiente não metálico (de preferência, vidro refratário). Utilizando água destilada, pode-se conseguir o estado líquido a até 108 °C, aproximadamente. Quando o líquido está superaquecido, uma leve agitação do recipiente pode provocar uma ebulição violenta, quase uma explosão. Como a transição do líquido para o vapor requer uma grande quantidade de calor, assim que a ebulição deixa de ocorrer, a temperatura do líquido que restou fica menor do que sua temperatura de ebulição na pressão existente. Em outras palavras, a uma atmosfera, a água restante estaria a uma temperatura menor do que 100 °C.

Esse fenômeno do superaquecimento pode ocorrer com qualquer líquido; por isso, quando aquecemos água ou leite no micro-ondas, devemos ter muito cuidado ao retirarmos o recipiente do forno, pois, se o líquido estiver superaquecido, uma ebulição violenta pode lançar gotas com temperaturas maiores que 100 °C em nossas mãos, produzindo graves queimaduras.



Nesta fotografia observamos água destilada superaquecida. A temperatura registrada no termômetro foi obtida aquecendo-se a água em um forno de micro-ondas sem o prato giratório.

A água

A água é a principal responsável pela existência da vida em nosso planeta. Acredita-se que há 3,5 bilhões de anos tenham surgido, na água, os primeiros compostos orgânicos que originariam os seres vivos: as bactérias. O desenvolvimento da vida sempre esteve ligado à água, que é o elemento predominante na constituição de animais e vegetais. Nos humanos, ela é responsável por quase 75% de sua massa.

Encontramos na Terra cerca de $1,4 \cdot 10^9 \text{ km}^3$ de água nos diferentes estados físicos. Praticamente 97% é salgada (em oceanos e mares) e apenas 3% dessa água é doce. E, desses 3%, menos de um centésimo está acessível no estado líquido distribuído na superfície do planeta; o restante é gelo nos polos, água subterrânea de difícil acesso ou vapor de água na atmosfera. Então, somente essa pequena porção de água doce encontrada em rios e lagos é que mantém a vida terrestre. Por isso o uso desordenado de produtos químicos, que polui de maneira irreversível a água, pode comprometer o futuro da vida na Terra.

No estudo das características da água, notamos que seu calor específico sensível ($1,0 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$) é bastante alto, fazendo sua presença, em grandes quantidades, um fator de estabilidade da temperatura. Para esfriar a água, libera-se energia térmica; para esquentá-la, absorve-se energia térmica. Por esse motivo, em regiões litorâneas ou onde exista um grande lago, as amplitudes térmicas (variações de temperatura) são pequenas e a vegetação e a fauna costumam ser bastante extensas e diversificadas. Como a água cobre quase $\frac{2}{3}$ da superfície de nosso planeta, o clima global é bastante influenciado por sua presença.

O vapor de água na atmosfera terrestre contribui de forma benéfica para o efeito estufa, aumentando a retenção da energia térmica emitida pela Terra, não deixando a temperatura diminuir muito à noite. Durante o dia, esse vapor reflete e retém parte da energia solar, evitando que a superfície do planeta se aqueça em demasia.

Na solidificação, a água aumenta de volume enquanto a maioria das substâncias diminui. Isso faz a densidade do gelo ser menor que a da água, o que leva o gelo a flutuar nela. Em regiões de invernos rigorosos, a solidificação de lagos e rios ocorre apenas na superfície, existindo água a uma temperatura maior que 0°C (zero grau Celsius) nas regiões mais profundas. Como o gelo é um bom isolante térmico, a vida, assim, é preservada. E após o degelo, na primavera, a vida animal e vegetal no interior desses lagos e rios volta a se desenvolver normalmente.

Seu calor específico latente de vaporização (540 cal/g) também é um importante fator de regulação do clima. Na evaporação da água, é absorvido calor para a mudança de estado, isto é, em locais com grandes áreas ocupadas por água, como uma represa, a temperatura é mais amena, pois a evaporação da água retira energia térmica do meio ambiente.

O gelo (água em estado sólido) flutua na água em estado líquido. Na fotografia, observamos um *iceberg* com aproximadamente nove décimos de seu volume imersos em água.



Sanford/AlaskaStock RM/Diomedea