



MUDANÇA DE ESTADO FÍSICO, PRESSÃO DE VAPOR...*

MUDANÇA DE ESTADO FÍSICO

Antes de verificarmos como ocorrem as mudanças de estado físico de uma substância, vamos caracterizar cada um dos estados aqui estudados. Estes estados físicos são: sólido, líquido e gasoso.

O estado sólido é caracterizado microscopicamente pela grande intensidade das forças de coesão a que estão sujeitas suas moléculas¹ constituintes (Estas forças é que tendem a manter as moléculas unidas.). Em virtude dessa intensa força de coesão, o movimento das moléculas de uma substância no estado sólido fica restrito a um movimento vibratório, sendo pequena a distância entre as moléculas. Dessa forma, macroscopicamente, um sólido apresenta características como forma e volume bem definidos, sendo praticamente incompressível.

Já as características do estado líquido diferem um pouco do estado sólido. Microscopicamente, as forças de coesão possuem menor intensidade em relação àquelas no estado sólido. Isto faz com que neste estado as moléculas encontrem-se mais afastadas umas das outras, podendo agora se deslocar umas em relação as outras, apresentando movimento de translação (de um ponto para outro dentro de um dado volume) além do movimento vibratório. Sendo assim, macroscopicamente, uma substância no estado líquido é caracterizada por não possuir forma definida (assume a forma do recipiente que o contém) apesar de possuir um volume definido e, assim como os sólidos, ser praticamente incompressível.

No estado gasoso, as forças de coesão entre as moléculas praticamente inexistem e, então estas encontram-se bem mais afastadas umas das outras, possuindo um movimento de translação bem intenso. Desse modo, temos que, macroscopicamente, uma substância na fase gasosa não possui nem forma nem volume definidos (as substâncias no estado gasoso tendem sempre a ocupar todo o espaço disponível) podendo ser comprimida com facilidade.

* Este material constitui parte do trabalho de mestrado de Denise Borges Sias, junto ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da UFRGS, sob orientação da Prof^a Rejane M. Ribeiro Teixeira.

¹ Neste texto é feita referência ao comportamento das moléculas, isto se deve ao fato de que, neste momento, basta analisarmos sob este enfoque. De qualquer forma é importante ressaltar que moléculas são agregados de átomos e estes, por sua vez, são formados por partículas.



No esquema abaixo (Figura 1) temos os três estados físicos da matéria, assim como as denominações dadas a cada mudança de estado físico.

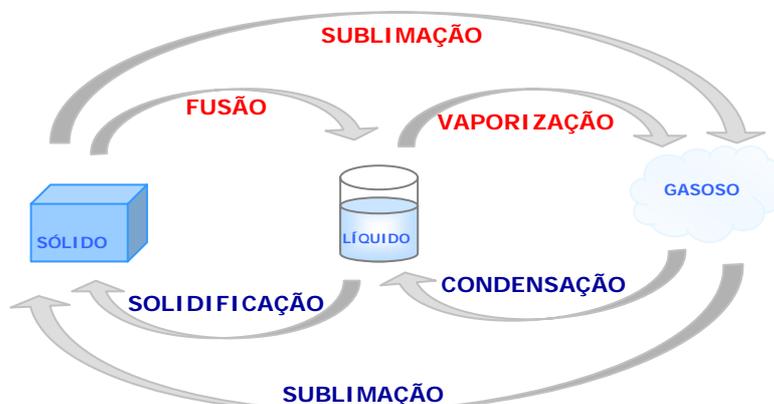


Figura 1: Estados físicos da matéria

Após observar o esquema acima, reflita sobre as seguintes questões:

1. Por que ocorrem as mudanças de estado físico?
2. O que acontece durante a mudança de estado físico?
3. Que condições são necessárias para uma substância mudar o seu estado físico?



Atividade Experimental!!!

Nosso objetivo, a partir de agora, é de esclarecer as questões acima; para isso vamos realizar algumas atividades experimentais. Começaremos com a atividade que está disponível em

<http://www.cefetr.tche.br/~denise/mudancadeestadofisico/mudancaestado.pdf>

A partir da realização da atividade citada acima podemos verificar que tanto a fusão, quanto a ebulição, ocorreu a uma temperatura determinada. Constatou-se também que, apesar de estar sempre recebendo energia na forma de calor, durante a mudança de estado físico, a temperatura do sistema permaneceu constante, como mostra o gráfico da Figura 2. Como discutimos anteriormente, isso ocorre porque, neste caso, a energia recebida da chama na forma de calor varia a energia interna do sistema, não através da variação de sua temperatura, e sim através de uma mudança no estado de agregação das moléculas.

De acordo com o que já vimos, cada estado físico possui suas características que, dependendo da quantidade de energia recebida (ou cedida) pelo sistema, podem ser alteradas provocando uma mudança no estado de agregação das moléculas e levando, então, este sistema a evoluir para um outro estado físico. Pode-se verificar, através do experimento realizado que, na passagem do estado sólido para o líquido, assim como na passagem do estado líquido para o gasoso, necessitamos fornecer energia ao sistema, pois nestes casos o sistema evolui para um estado de maior energia interna. Podemos deduzir, então, que para transformações inversas como passar do estado gasoso para o líquido, gasoso para o sólido ou do líquido para o sólido, é necessário retirar energia do sistema.

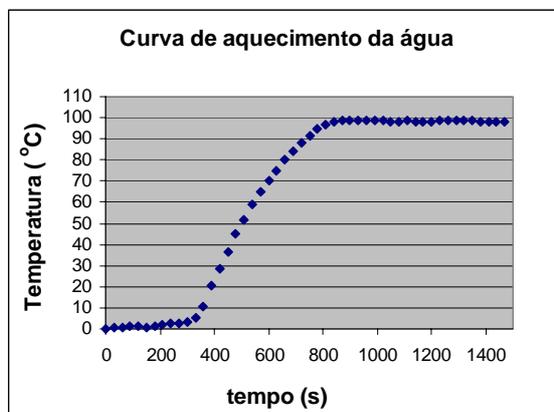


Figura 2: Curva de aquecimento da água. Os dados aqui representados foram obtidos experimentalmente utilizando o sistema CBL. O guia experimental utilizado neste experimento pode ser encontrado em: <http://www.cefetrs.tche.br/~denise/mudancadeestadofisico/mudancaestado.pdf>

Podemos, então, resumir dizendo que para uma substância submetida a uma determinada pressão²:

- I. As mudanças de estado físico ocorrem a temperaturas bem definidas para cada substância. Essas temperaturas são denominadas pontos fixos. Abaixo, temos a Tabela 1 que apresenta valores dos pontos de fusão e de ebulição para algumas substâncias, submetidas à pressão normal de 1 atmosfera (1atm).

² As características apresentadas nos itens de I a IV referem-se a fusão cristalina e a vaporização por ebulição.



Tabela 1: Pontos de fusão e ebulição de algumas substâncias, submetidas à pressão normal de 1 atm.

SUBSTÂNCIA	PONTO DE FUSÃO (°C)	PONTO DE EBULIÇÃO (°C)
Água	0	100
Álcool etílico	-114	78
Oxigênio	-219	-183
Nitrogênio	-210	-196
Hidrogênio	-259	-253
Alumínio	660	2450
Ferro	1537	3000
Ouro	1064	2970

- II. Durante a mudança de estado físico a temperatura permanece constante.
- III. Para que ocorra a mudança de estado físico, cada substância deve receber (ou ceder) uma determinada quantidade de energia.
- IV. A temperatura de mudança de estado físico é a mesma em transformações inversas. Ou seja, a temperatura de fusão é a mesma de solidificação, assim como a temperatura de ebulição é a mesma de condensação para uma mesma substância.

CALOR LATENTE

Veremos agora como calcular a energia que deve ser fornecida ou retirada de um corpo para que ocorra mudança de seu estado físico. Esta energia é denominada calor latente e podemos calculá-la através da seguinte equação:

$$Q_L = m.L$$

onde:

Q_L – é a quantidade de energia necessária para que ocorra a mudança de estado físico;

m – é a massa da substância que muda de estado físico;

L – é denominado calor latente de mudança de estado, característico de cada substância e de cada transformação de estado.



O valor de L é tabelado e é diferente para cada mudança de estado físico. Na Tabela 2 temos alguns exemplos.

Tabela 2: Calor latente de algumas substâncias.

SUBSTÂNCIA	CALOR DE FUSÃO (cal/g)	CALOR DE EBULIÇÃO (cal/g)
Água	80	540
Álcool etílico	25	204
Alumínio	96	2597

Significado físico de L:

Calor latente de mudança de estado (L) significa a energia que devemos fornecer ou retirar de um determinado corpo, por unidade de massa, para que mude seu estado físico.



Atividade Experimental!!!

Neste momento será realizada uma atividade experimental. A descrição desta atividade está disponível em

<http://www.cefetrs.tche.br/~denise/mudancadeestadofisico/calorlatente.pdf>

TIPOS DE FUSÃO

- ❖ **Cristalina:** é a passagem direta da fase sólida para a fase líquida a uma temperatura fixa.
Exemplo: A água congela ao atingir a temperatura de 0°C.
- ❖ **Pastosa:** neste caso, a substância vai amolecendo aos poucos à medida que a temperatura aumenta, não existindo neste caso uma temperatura fixa para o fenômeno.
Exemplo: A manteiga ao ser deixada fora de refrigeração.

TIPOS DE VAPORIZAÇÃO

- ❖ **Evaporação:** ocorre somente na superfície livre do líquido e a qualquer temperatura.
Exemplo: A água contida nas roupas colocadas para secar no varal sofrem evaporação.



- ❖ **Ebulição:** ocorre em toda a massa líquida a uma temperatura fixa. Caracteriza-se pela formação de bolhas de vapor no interior do líquido.

Exemplo: A água fervendo em uma chaleira encontra-se em ebulição.

- ❖ **Calefação:** ocorre quando o líquido é lançado sobre uma superfície cuja temperatura encontra-se acima da temperatura de ebulição do líquido.

Exemplo: O que ocorre quando borrifamos água em uma panela ou chapa muito aquecida.



Atividade Experimental!!!

Neste momento será realizada uma atividade experimental. A descrição desta atividade está disponível em

<http://www.cefetrs.tche.br/~denise/mudancadeestadofisico/resfceramica.pdf>

FATORES QUE INFLUENCIAM NA RAPIDEZ DE EVAPORAÇÃO

- Natureza do líquido

Os líquidos podem ser divididos em dois tipos: voláteis e não-voláteis. Líquidos voláteis, como o álcool, o éter e a acetona, evaporam rapidamente quando comparados com os não-voláteis como a água e os óleos. A estabilidade está relacionada com o tipo de ligações químicas e grupos funcionais de cada substância.

- Temperatura do líquido

Quanto maior a temperatura do líquido maior será o número de moléculas com energia suficiente para escapar do estado líquido para o de vapor, logo, maior será a rapidez de evaporação.

- Área da superfície livre do líquido

Como a evaporação é um fenômeno que ocorre na superfície livre do líquido, quanto maior for esta superfície, um número maior de moléculas estará evaporando, aumentando assim, a rapidez da evaporação.



- Concentração de vapor sobre a superfície livre do líquido

Quanto maior for a concentração de vapor na superfície livre do líquido, menor será sua rapidez de evaporação.

- Pressão exercida sobre a superfície do líquido

Quanto maior for a pressão sobre a superfície livre do líquido, mais devagar ele evapora.

PRESSÃO E TEMPERATURA

Pressão Atmosférica

A camada de ar (atmosfera) existente sobre nós possui peso. A razão entre o peso desta camada de ar e a superfície na qual ela se distribui (superfície terrestre) é o que se chama de pressão atmosférica.

A pressão atmosférica varia com a altitude. À medida que subimos na atmosfera, a camada de ar sobre nós diminui e, conseqüentemente, diminui a pressão atmosférica.

A pressão atmosférica medida ao nível do mar é considerada pressão normal e possui os seguintes valores:

$$p_{\text{atm (nível do mar)}} = 1 \text{ atm} = 76 \text{ cmHg} = 760 \text{ mmHg} = 1.10^5 \text{ N/m}^2.$$

Composição do ar: O ar atmosférico é uma mistura de gases, consistindo aproximadamente de 80% de nitrogênio, 18% de oxigênio e pequenas quantidades de gás carbônico, vapor d'água e outros gases. [5]

Pressão de Vapor

Da mesma forma que a atmosfera exerce pressão sobre nós o vapor acumulado sobre a superfície livre do líquido também exerce pressão sobre ele. A esta pressão dá-se o nome de pressão de vapor.

À medida que o líquido evapora essa pressão de vapor vai aumentando. Esse aumento atinge um valor máximo para cada temperatura e, neste caso, dizemos que o ambiente está saturado de vapor.



Atividade Experimental!!!

Vamos analisar agora, através de uma atividade experimental, como varia a pressão de vapor de um líquido com a temperatura. A descrição desta atividade está disponível em

<http://www.cefetrs.tche.br/~denise/mudancadeestadofisico/pressao.pdf>

A partir da realização do experimento, citado acima, pode-se obter um gráfico semelhante ao representado na Figura 3 da pressão de vapor da água em função da temperatura.

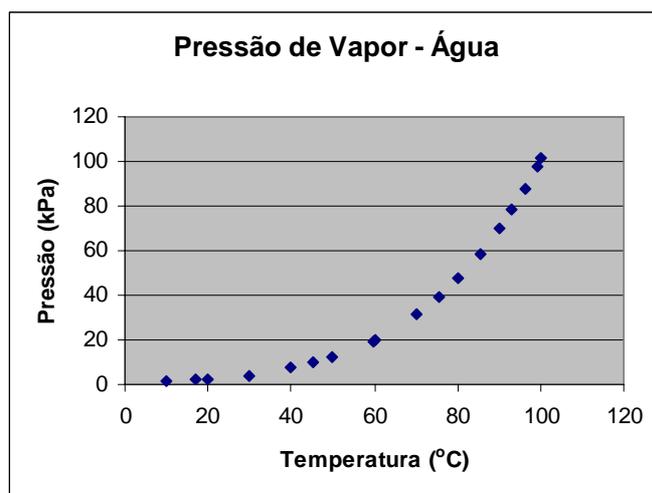


Figura 3: Gráfico da pressão de vapor saturado da água versus temperatura.

Tabela 3: Dados representados na figura 3.

Temperatura (°C)	Pressão Vapor (kPa)
10,00	1,23
17,20	1,96
20,00	2,34
30,00	4,22
40,00	7,38
45,40	9,80
50,00	12,34
59,70	19,60
60,00	19,94
70,00	31,18
75,40	39,20
80,00	47,37
85,50	58,80
90,00	70,11
93,00	78,40
96,20	88,00
99,10	98,00
100,00	101,30

Observação: a pressão de vapor da água é medida em kPa. Sendo $1 \text{ kPa} = 10^3 \text{ Pa} = 10^3 \text{ N/m}^2$.

Neste gráfico, temos a representação de uma curva de pressão de vapor saturado da água em função da temperatura. Vapor saturado pode ser definido como aquele que está em equilíbrio com seu próprio líquido. Dessa forma todos os pares de valores de pressão e temperatura sobre a curva representam condições em que a água está em equilíbrio com seu próprio vapor saturado. Isto significa que, nesta situação, se uma determinada quantidade de água for vaporizada, imediatamente a mesma quantidade de vapor será condensada de modo que a massa de cada um (líquido e vapor) permaneça constante.

Poderíamos nos perguntar agora o que representam os pontos exteriores à curva, como, por exemplo, os pontos B e C representados na Figura 4.

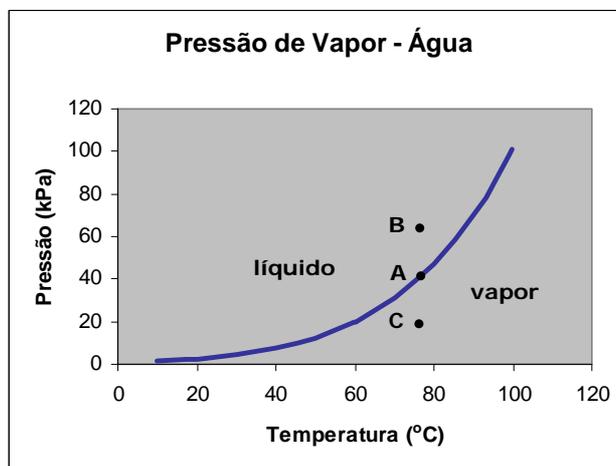


Figura 4: Pressão de vapor da água versus temperatura

Partindo do ponto A (situação de equilíbrio entre líquido e vapor), mantendo-se a temperatura constante e aumentando-se a pressão, atingindo então o ponto B, teremos a situação em que a água terá existência estável como líquido.

De outra forma, partindo de A diminuindo-se a pressão e mantendo-se a temperatura constante, atinge-se o ponto C, que representa uma situação na qual a água terá existência estável como vapor.

Pressão de Vapor da Água X Pressão de Vapor do Álcool

É interessante comparar as curvas de pressão de vapor de dois líquidos. Faremos isto para a água e para o álcool. A Figura 5 mostra as duas curvas.

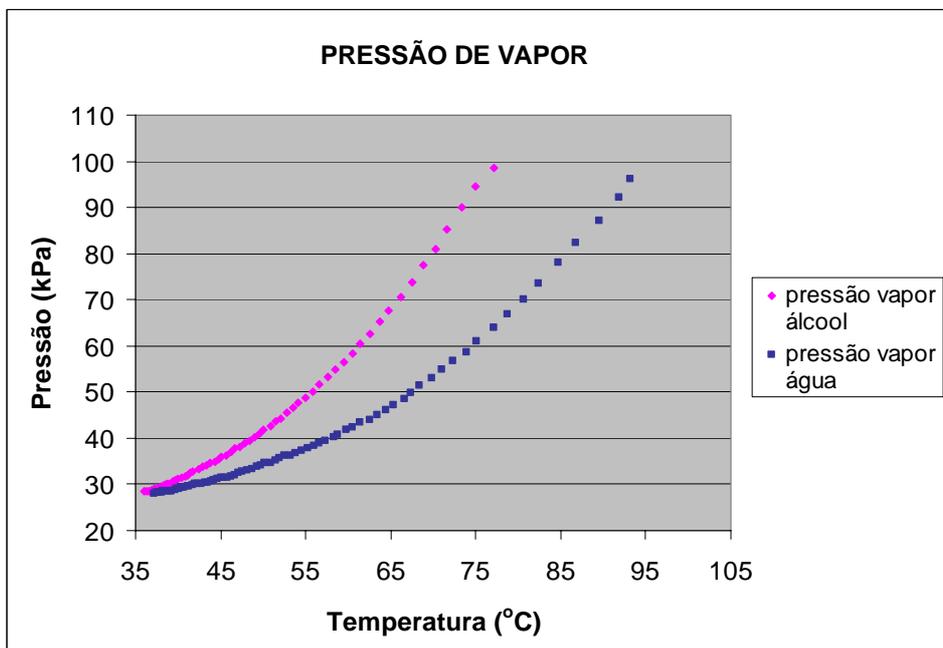


Figura 5: Curvas da pressão de vapor saturada da água e do álcool versus temperatura. Os dados aqui representados foram obtidos experimentalmente utilizando o sistema CBL. O guia experimental utilizado neste experimento pode ser encontrado em: <http://www.cefetr.rs.br/~denise/mudancadeestadofisico/pressao.pdf>

Observe que, para um mesmo valor de temperatura, o álcool apresenta uma pressão de vapor maior do que a da água e, à medida que a temperatura vai aumentando, a diferença entre as pressões de vapor vai ficando cada vez maior. Isto acontece porque o álcool evapora mais rapidamente que a água, ou seja, é mais volátil. Normalmente os líquidos mais voláteis possuem temperatura de ebulição menor do que os líquidos não voláteis, como a água, por exemplo, e por este motivo devemos ter um certo cuidado no manuseio deste tipo de substância.

Temperatura de Ebulição

Considere uma determinada quantidade de água em um recipiente aberto, submetido à pressão atmosférica (Figura 6). Admita que a água encontre-se a 20 °C, observando a tabela 3 pode-se verificar que neste caso sua pressão de vapor será de 2,34 kPa (ou 2340 Pa = 2340 N/m²). De acordo com esta situação, se uma bolha se formasse dentro do líquido, submetido à pressão atmosférica de 1.10⁵ Pa (ou 100.000 Pa), seria imediatamente esmagada pela pressão externa e condensaria. Mas se elevarmos a temperatura da água para 100 °C, de acordo com a mesma tabela, a sua pressão de vapor

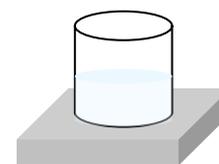


Figura 6: Recipiente aberto



será de 1.10^5 Pa e, então, as bolhas de vapor poderiam formar-se, teríamos então o líquido em ebulição. A esta temperatura, se fornecemos energia suficiente, essa massa de água passará de líquido para vapor.

Se a pressão externa tivesse valores acima de 1.10^5 Pa, a ebulição não ocorreria a 100°C , mas sim a uma temperatura superior, na qual a pressão de vapor se igualasse à pressão externa. Situação inversa ocorreria se a pressão externa tivesse um valor menor do que 1.10^5 Pa. Dessa forma podemos dizer que:

“O ponto de ebulição de um líquido é a temperatura na qual a pressão de vapor do líquido é igual a pressão externa.” [5]

INFLUÊNCIA DA PRESSÃO NA TEMPERATURA DE MUDANÇA DE ESTADO FÍSICO – DIAGRAMA DE ESTADO

Voltando às três questões iniciais:

1. Por que ocorrem as mudanças de estado físico?
2. O que acontece durante a mudança de estado físico?
3. Que condições são necessárias para uma substância mudar o seu estado físico?

temos que, na verdade, a questão 3 não foi completamente respondida. As três leis de mudança de estado físico foram enunciadas considerando que a substância estivesse submetida à pressão normal (pressão fixa). Mas o que ocorre com os pontos fixos, nos quais ocorrem as mudanças de estado, se a pressão externa for diferente do valor normal de 1 atm?

Acabamos de verificar que um líquido entra em ebulição a partir do momento em que a sua pressão de vapor se iguala à pressão externa. Sendo assim, teríamos uma temperatura de ebulição diferente para cada valor de pressão externa. Esses valores podem ser representados graficamente como na Figura 7.

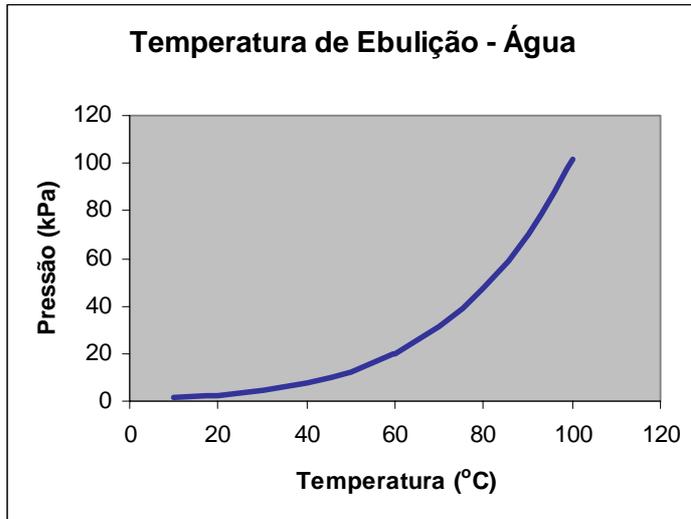


Figura 7: Gráfico da Pressão versus Temperatura de ebulição da água.

Tabela 4: Dados representados na Figura 7.

Temperatura de Ebulição (°C)	Pressão (kPa)
10,00	1,23
17,20	1,96
20,00	2,34
30,00	4,22
40,00	7,38
45,40	9,80
50,00	12,34
59,70	19,60
60,00	19,94
70,00	31,18
75,40	39,20
80,00	47,37
85,50	58,80
90,00	70,11
93,00	78,40
96,20	88,00
99,10	98,00
100,00	101,30

Da mesma forma que a pressão influencia na temperatura de ebulição (ou condensação), também influencia na temperatura de fusão (ou solidificação) e, também, na temperatura de sublimação. Podemos reunir as curvas representativas nestes três casos em um único gráfico e construir um diagrama de estado para cada substância. As Figuras 8 e 9 mostram dois exemplos de diagramas de estado. Na Figura 7 o ramo OC representa o gráfico da Figura 7.

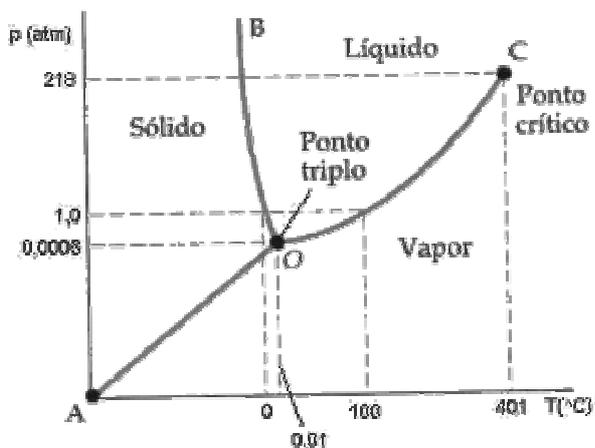


Figura 8: Diagrama de fases da água.

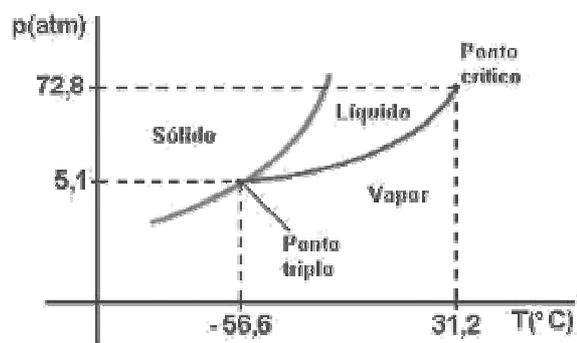


Figura 9: Diagrama de fases do dióxido de carbono (CO₂) que, no estado sólido, é conhecido como gelo-seco.



Vemos que as três curvas dividem o diagrama em três regiões. Para qualquer par de valores de pressão e temperatura dentro de uma destas regiões a substância pode se encontrar em um estado físico apenas: sólido, líquido ou vapor. Se este par de pontos estiver contido numa das curvas, a substância poderá encontrar-se em equilíbrio em duas fases.

Em cada diagrama de estado existe um ponto em que as três curvas se encontram. Esse ponto é denominado ponto triplo e representa valores de pressão e temperatura em que a substância pode se encontrar, simultaneamente, nos três estados físicos.

Um outro ponto importante neste tipo de diagrama é o ponto representado por C e chamado de Ponto Crítico. Esse ponto limita a curva de vaporização, ou seja, uma substância que estiver com temperatura acima da sua temperatura crítica não poderá mais ser liquefeita por mais que se aumente a pressão sobre ela. A partir desse ponto essa substância é um gás. Dessa forma, a pressão crítica é definida como sendo a pressão necessária para liquefazer um vapor que encontra-se em sua temperatura crítica.

Ao compararmos os dois diagramas acima vemos que a curva de fusão, ou seja, a curva que nos mostra valores de pressão e temperatura para os quais os estados sólido e líquido encontram-se em equilíbrio, apresenta-se diferente em cada caso. Essa diferença ocorre porque algumas substâncias como a água, por exemplo, diminuem de volume na fusão e outras, ao contrário, como o dióxido de carbono, aumentam de volume na fusão.

A grande maioria das substâncias se comporta como o dióxido de carbono, ou seja, ao passarem do estado sólido para o estado líquido aumentam de volume, o que é bem aceitável pelo que vimos sobre as características das substâncias nos três estados físicos. Para estas substâncias, então, quando aumentamos a pressão, a temperatura de fusão também aumenta.

Substâncias como a água, o ferro, o bismuto e o antimônio apresentam comportamento contrário: ao passarem do estado sólido para o estado líquido diminuem de volume. Neste caso, um aumento de pressão, acarreta uma diminuição na temperatura de fusão.



A FÍSICA NO NOSSO DIA-A-DIA

UMIDADE RELATIVA

Como já vimos o ar atmosférico é uma mistura de vapor d'água e outros gases. Denomina-se umidade relativa a razão entre a pressão parcial de vapor d'água e a pressão de vapor saturado para uma dada temperatura. Essa relação é normalmente expressa em porcentagem e pode ser equacionada da seguinte forma:

$$\text{UMIDADE RELATIVA} = 100 \times \frac{\text{pressão parcial de vapor d'água}}{\text{pressão de vapor saturado}}$$

A umidade relativa está diretamente ligada ao nosso cotidiano. Por exemplo, quanto maior a umidade relativa do ar, é mais difícil ocorrer a evaporação dos líquidos, assim, as roupas úmidas não secam, o ar condensa nos azulejos e pisos das casas, o suor tem dificuldade em evaporar da pele e, por isso, a nossa sensação térmica é de que o dia está mais quente.



Atividade Experimental!!!

Neste momento será realizada uma atividade experimental. A descrição desta atividade está disponível em

<http://www.cefetrs.tche.br/~denise/mudancadeestadofisico/medumrel.pdf>



NUVENS, NEBLINA, CHUVA...

No caso em que a pressão parcial de vapor apresenta-se maior que a pressão de saturação, uma certa quantidade de vapor acaba condensando. Isto acontece com a finalidade de reduzir a pressão parcial de vapor ao valor da pressão de saturação, a esta temperatura. Esse fenômeno é a causa da formação de nuvens, nevoeiro e chuva.

À noite, quando a superfície da Terra se resfria por radiação, esse fenômeno ocorre e, neste caso, a mistura condensada recebe o nome de orvalho.

No caso em que a pressão de saturação de vapor for tão baixa, que a temperatura deva cair abaixo de 0°C , para que a pressão parcial de vapor a ela se iguale, o vapor se condensa sob a forma de geada, em cristais de gelo.



Atividade Experimental!!!

Neste momento será realizada uma atividade experimental. A descrição desta atividade está disponível em

<http://www.cefetrs.tche.br/~denise/mudancadeestadofisico/geada.pdf>

REFERÊNCIAS

- [1] GASPAR, A. *Física 2: ondas, óptica e termodinâmica*. São Paulo: Editora Ática, 2000. 416 p.
- [2] GUIMARÃES, L. A. M; BOA, M. C. F. *Termologia e óptica*. São Paulo: Editora Harbra, 1997. 328 p.
- [3] HEWITT, P. G. *Física conceitual*. São Paulo: Editora Bookman, 2002. 685 p.
- [4] MAIZTEGUI, A. P; SABATO, J. A. *Física 1*. Porto Alegre: Editora Globo, 1973. 463 p.
- [5] SEARS, F. W. *Física 1: mecânica, calor e acústica*. Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico, 1960, 650p.