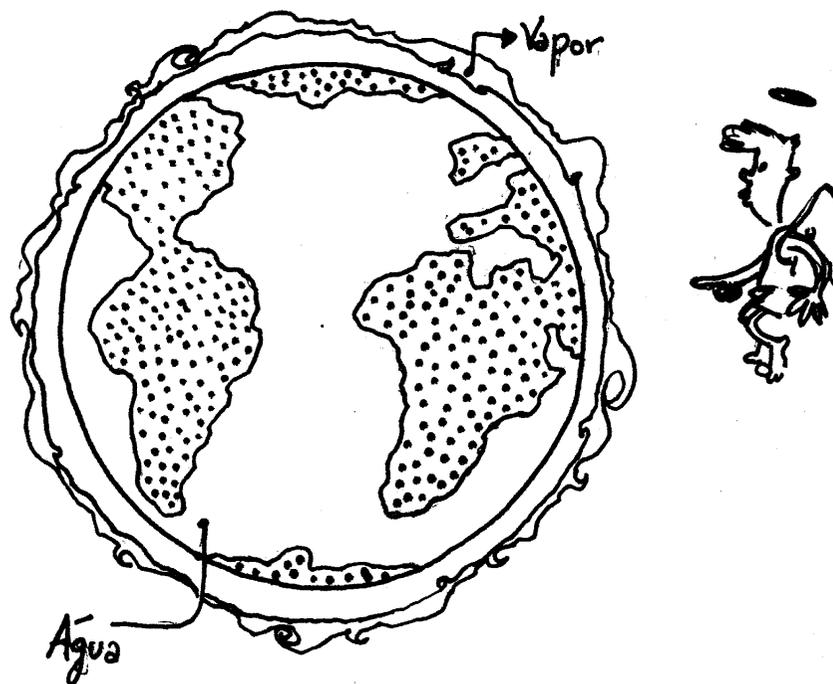


# 14

## Terra: planeta água

Lagos, rios e mares.  
Orvalho, neblina e  
chuvas. Granizos e  
geleiras. Estamos  
falando de água.

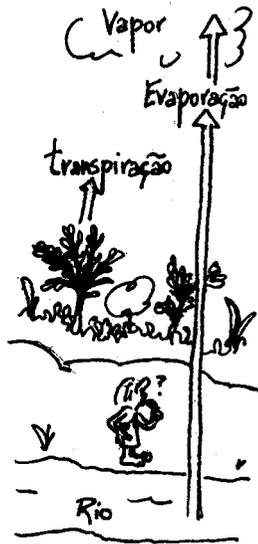


Habitamos um planeta com 70% de sua superfície cobertos de água.

Aqui, quase toda água (97,5%) é salgada: a água dos oceanos.

Grande parte da água doce se encontra em regiões pouco habitadas, nos pólos, na forma de gelo.

O restante da água doce aflora do subsolo, cortando as terras como rios e lagos e se acumulando na atmosfera como vapor.



Uma gota de água do mar evaporou. Subiu, subiu, até encontrar uma nuvem. Caiu como chuva. Molhou plantas e solo. Percorreu rios. E... voltou para o mar.

A vida no nosso planeta teve início na água, que é o elemento que cobre 2/3 da sua superfície e é um dos principais componentes dos organismos vivos, vegetais ou animais.

Não podemos "imaginar" vida semelhante à da Terra em planetas sem água.

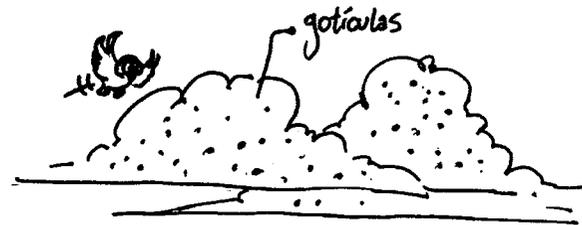
A água é a única substância que existe em grandes quantidades na natureza, nos estados líquido, sólido e gasoso. Está em contínuo movimento, constituindo um ciclo.

### O ciclo da água

Das nascentes dos rios, geralmente localizadas nas regiões altas, a água desce cortando terras, desaguando em outros rios, até alcançar o mar.

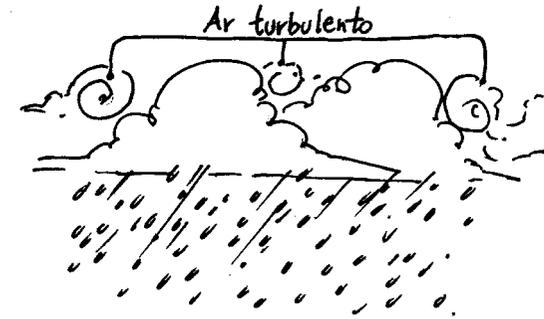
Grande quantidade de água dos rios e mares e da transpiração das plantas evapora, isto é, passa para o **estado de vapor** ao ser aquecida pelo sol e devido à ação dos ventos.

Transformada em vapor, a água se torna menos densa que o ar e sobe. Não percebemos o vapor de água na atmosfera nem as gotículas de água em que se transforma quando se resfria, na medida em que alcançam maiores alturas. Essas gotículas muito pequenas e distantes umas das outras (e que por isso não são visíveis) se agrupam e vão constituir as nuvens.

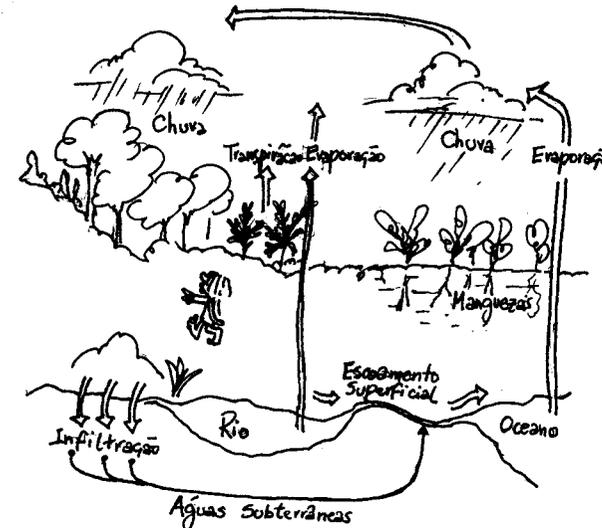


Para que uma nuvem formada por bilhões de gotículas precipite como chuva é necessário que as gotículas se aglutinem em gotas de água com cerca de 1 milhão de gotículas. Isso ocorre em situações específicas, como quando

a nuvem é envolta por ar em turbulência, que faz as gotículas colidirem entre si ou quando a temperatura da parte superior da nuvem atinge cerca de 0°C.



A chuva, ao cair, traz de volta ao solo a água, que pode passar por árvores, descer cachoeiras, correr rios e retornar para o mar. O ciclo da água está completo.



Para que esse ciclo não se interrompa é necessário que se mantenham as condições que propiciam a formação e a precipitação das nuvens.

Você pode simular a formação da chuva criando condições para que a água mude de estado.

## As mudanças de estado

No ciclo da água ocorrem mudanças de estado. A água no estado líquido, ao sofrer um aquecimento ou devido à ação do vento, evapora. A **evaporação** é a passagem lenta de um líquido para vapor, isto é, uma vaporização lenta. Ela ocorre em diversas temperaturas, sempre retirando calor do ambiente. O vapor de água, que é menos denso que o ar, sobe, por convecção, ficando sujeito a novas condições de pressão e temperatura.

A **pressão atmosférica**, pressão da coluna de ar acima do local, diminui na medida em que nos afastamos da superfície. Isso acontece porque a coluna de ar acima vai diminuindo. Além disso, o ar se torna mais rarefeito (menos moléculas de ar por unidade de volume) na medida em que a altitude aumenta.

Esses fatores, ar rarefeito e diminuição da pressão atmosférica, fazem com que a temperatura caia. Temos então condições para que o vapor de água mude novamente de estado. Ele se resfria e se condensa, formando gotículas.

A **condensação** é a passagem do estado de vapor para o líquido, que ocorre com perda de calor. O vapor de água cede calor para o ambiente.

Sempre que uma substância muda de estado há troca de calor com o ambiente. Essa quantidade de calor necessária para que ocorra uma mudança de estado é chamada de **calor latente**.

O **calor latente de vaporização** é, no caso da evaporação, o calor recebido do meio ambiente e, no caso da condensação, o calor cedido para o ambiente.



## Fazendo chuva

- Coloque um pouco de água em um recipiente de vidro e amarre um pedaço de bexiga na boca dele. Marque o nível da água antes de começar o experimento. O que você observa após algum tempo?

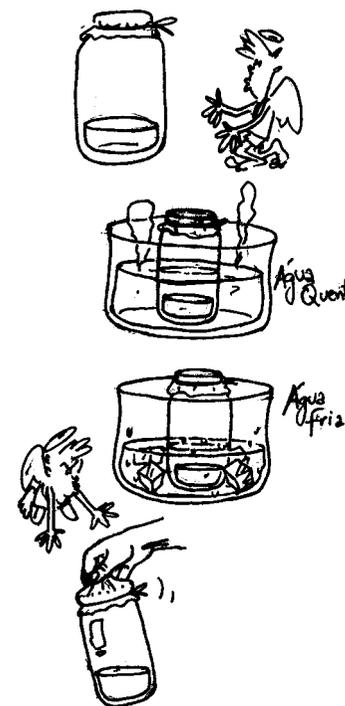
- Coloque o frasco por aproximadamente 1 minuto em água quente e observe. Em seguida em água fria, com algumas pedras de gelo, por algum tempo. Observe o que aconteceu.

- Quanto mais vapor houver dentro do frasco, maior será a umidade relativa do ar. Você acha que a variação de temperatura influi na umidade relativa do ar? Como? O aquecimento e o resfriamento favorecem os processos de mudança de estado? Como?

- Para variar a pressão sobre o ar no interior do frasco, coloque água em temperatura ambiente e tampe-o novamente com a bexiga, aguardando cerca de 5 minutos. Como a condensação do vapor de água ocorre sobre partículas em suspensão, abra o frasco, coloque fumaça de um fósforo recém apagado no seu interior e feche-o rapidamente. Isso vai facilitar a visualização das gotículas.

- Provoque variações de pressão no frasco puxando e empurrando a tampa elástica. Repita isso várias vezes e observe. Ocorreu condensação ao puxar ou ao empurrar a tampa elástica? O que aconteceu com a pressão nas duas situações? Em que condições ocorre condensação? Devemos esperar que chova quando ocorre aumento ou diminuição da pressão atmosférica?

A diminuição de pressão provoca aumento da evaporação da água. Com a evaporação ocorre diminuição da temperatura do ar e conseqüentemente condensação do vapor de água. A "nuvem" que você observou resultou de um abaixamento de temperatura provocado pela evaporação da água.



## Chove muito ou chove pouco?

Nas regiões de serra próximas ao mar encontram-se matas fechadas e formações rochosas que propiciam ambientes úmidos.

Com escarpas de mais de 1.000 m de altura a serra do Mar funciona como barreira para os ventos que sopram do oceano, fazendo com que as massas de ar úmido subam e formem nuvens.



Essas nuvens se precipitam como chuvas orográficas (provocadas pelo relevo). Parte da água da chuva fica retida nas plantas e no solo e é evaporada em grandes quantidades, caracterizando essas regiões como chuvosas.

Na serra do Mar, geralmente chove a cada dois ou três dias, o que fornece um índice pluviométrico (medida da quantidade de chuva) de 4.000 milímetros de água por ano, enquanto na cidade de São Paulo esse índice é de cerca de 1.400 milímetros.

Nessas condições é comum a presença de serração, pois devido à umidade da região a quantidade de vapor na atmosfera é muito grande, e na presença de ar mais frio se condensa em gotículas que constituem a neblina.

## Orvalho, nevoeiro, neve e granizo. Ciclo da água?

*O orvalho vem caindo.*

*Vai molhar o meu chapéu.*

Será que Noel Rosa e Kid Pepe viram o orvalho cair? Será que o orvalho cai? Como e quando ele aparece?

O orvalho, parte do ciclo da água, só ocorre em condições especiais. O ar, o solo e as plantas aquecidos durante o dia pela radiação solar se resfriam à noite diferentemente, pois seus calores específicos são diferentes.

Durante o dia, o solo e as plantas se aquecem mais que o ar, e também se resfriam mais durante a noite. Quando a temperatura das folhas das plantas, da superfície de objetos, está mais baixa que a do ar, pode haver formação de orvalho. O vapor de água contido na atmosfera se condensa ao entrar em contato com as superfícies mais frias.

Portanto, o orvalho não cai, ele se forma nas folhas, solo e objetos quando sua temperatura atinge o ponto de orvalho.

Ponto de orvalho é a temperatura em que o vapor de água está saturado e começa a se condensar. Em noites de vento, o orvalho não se forma porque a troca de calor com o meio é acentuada, impedindo o ponto de orvalho no solo.

## Nevoeiro e neve

O nevoeiro consiste na presença de gotículas de água na atmosfera próximo à superfície terrestre. Quando a atmosfera é resfriada, por contato com o ar mais frio, por exemplo, o vapor de água se condensa, formando gotículas. Se as gotículas aumentam de tamanho, o nevoeiro se transforma em garoa ou chuva.

Em regiões onde a temperatura do ar frio é muito baixa, o vapor de água pode se transformar em cristais de gelo, caindo em flocos e constituindo a neve.

A passagem do estado de vapor para sólido é chamada de sublimação.

## Chuva de granizo

O granizo se forma em nuvens a grandes altitudes. As gotas de água se tornam tão frias que sua temperatura fica mais baixa que o ponto de congelamento (0°C). Quando essas gotas de água interagem com partículas de poeira ou fumaça, congelam e se precipitam como pedras de gelo.

## Atividade: o orvalho e a geada

Utilize três recipientes iguais, um contendo água da torneira, outro contendo gelo e outro com gelo e sal de cozinha. Relacione a sua observação com as informações do texto acima. Elabore um modelo físico que relacione o que você observou e os fenômenos do orvalho e da geada.

O que ocorre do lado de fora dos recipientes? Como você explica essas diferenças? Use um termômetro para medir a temperatura dentro de cada recipiente. Pesquise quais as conseqüências que uma geada pode trazer à lavoura. Para proteger a plantação da geada, o agricultor promove a queima de serragem, que produz fumaça sobre a lavoura. Explique de que serve isso.

# —15—

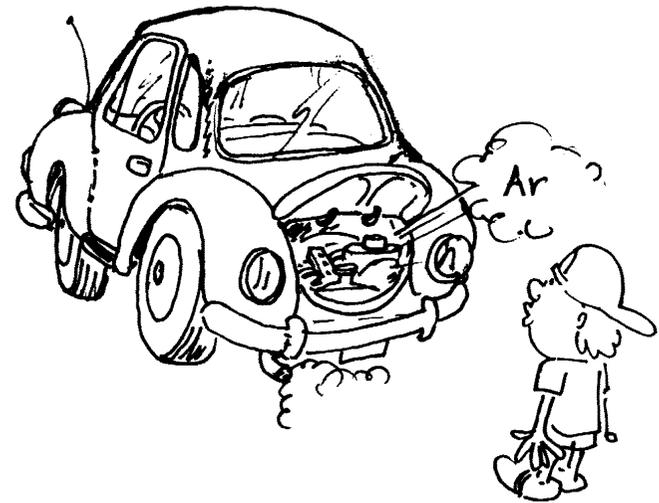
## Os materiais e as técnicas

"Fundiu" o motor?  
"Queimou" a lâmpada?  
"Derreteu" o gelo?  
É de ferro fundido?  
Mudou de estado?



São necessários cuidados de manutenção na refrigeração e lubrificação para evitar que o carro "ferva" e que o motor funda.

Na fabricação de blocos de motor, de carrocerias de caminhão e de painelas, é necessário que o ferro, o aço e o alumínio estejam derretidos para ser moldados.



Estamos falando de mudança de estado.

# 15 Os materiais e as técnicas



O que é a chama?

Quando se acende o pavio de uma vela, a parafina (mistura de hidrocarbonetos) próxima a ele se liquefaz e depois se vaporiza. O gás sobe por convecção e reage com o oxigênio do ar, produzindo água e gás carbônico com liberação de energia térmica e luminosa. É isso que constitui a chama.

Nas mudanças de estado sempre ocorrem trocas de calor

No nosso dia-a-dia transformamos água em vapor ao cozinhar e água em gelo em nossa geladeira. A água é uma das raras substâncias que são encontradas na natureza nos três estados físicos: como vapor na atmosfera, líquido nos rios e mares e sólido nas geleiras.

Embora qualquer substância possa ser sólida, líquida ou gasosa, produzir uma mudança de estado em algumas delas não é uma tarefa simples como acontece com a água. Sendo assim, temos de empregar técnicas específicas, como as utilizadas para obter o gás hélio, que só se condensa a baixas temperaturas (-269°C), e mesmo a baixíssimas temperaturas só se solidifica com alterações de pressão.

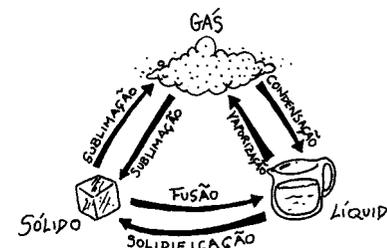
Algumas técnicas como a **fundição**, que consiste no derretimento dos metais para serem moldados, são empregadas com sucesso há bastante tempo e vêm sofrendo atualizações. O ferro e o cobre deixam de ser sólidos, isto é se fundem, a temperaturas de cerca de 1500°C, que são conseguidas em fornos metalúrgicos.

Da mesma maneira que a fusão dos metais é essencial na fabricação de peças de automóveis, carrocerias de caminhão, ferrovias, eletrodomésticos etc., a vaporização da água é o processo físico que garante o funcionamento de uma usina termelétrica. A água aquecida na caldeira vaporiza, e o vapor a alta temperatura e pressão move as pás de uma turbina que gera energia elétrica.

Numa ação corriqueira como a de acender uma vela, produzimos duas mudanças de estado: a fusão e a vaporização da parafina.

No entanto, nem sempre a mudança de estado é desejável. Não queremos, por exemplo, que as lâmpadas de nossa casa se "queimem". O filamento das lâmpadas incandescentes é de tungstênio, que funde à temperatura de 3380°C. Se essa temperatura for atingida pelo filamento, ele se rompe ao fundir, interrompendo o circuito. Também tomamos cuidado com a lubrificação e a refrigeração do motor de nossos carros, evitando assim que o motor funda.

Na fusão (passagem de sólido para líquido) e na vaporização (passagem de líquido para vapor) sempre fornecemos calor às substâncias. Na solidificação (passagem de líquido para sólido) e na condensação (passagem de gás para líquido) sempre retiramos calor das substâncias.



A temperatura em que cada substância muda de estado é uma propriedade característica da substância.

A quantidade de calor necessária para que 1 grama de substância mude de estado é o seu **calor latente**, que também é uma propriedade característica.

Os valores da temperatura de mudança de estado e do calor latente respectivo definem o seu uso na indústria. A tabela 15.1 fornece os pontos de fusão e de ebulição e também o calor latente de fusão e de vaporização de algumas substâncias à pressão atmosférica.

| Substância | Fusão  |                        | Ebulição |                        |
|------------|--------|------------------------|----------|------------------------|
|            | T(°C)  | L <sub>f</sub> (cal/g) | T(°C)    | L <sub>v</sub> (cal/g) |
| tungstênio | 3380   | -                      | 6000     | -                      |
| ferro      | 1535   | 64,4                   | 2800     | 1515                   |
| cobre      | 1038   | 51                     | 2582     | 1290                   |
| ouro       | 1063   | 15,8                   | 2660     | 377                    |
| zinco      | 419    | 28,13                  | 906      | -                      |
| chumbo     | 327    | 5,5                    | 1750     | 208                    |
| estanho    | 232    | 14                     | -        | 721                    |
| enxofre    | 119    | 9,1                    | 445      | 78                     |
| água       | 0      | 79,71                  | 100      | 539,6                  |
| mercúrio   | -39    | 2,82                   | 356,5    | 68                     |
| metanol    | -97    | 16,4                   | 64,7     | 262,8                  |
| etanol     | -114,4 | 24,9                   | 78,3     | 204                    |
| éter       | -116   | -                      | 35       | 89                     |
| nitrogênio | -210   | 6,09                   | -195,5   | 47,6                   |
| oxigênio   | -219   | 3,3                    | -182,9   | 50,9                   |
| hidrogênio | -259   | 13,8                   | -252,8   | 108                    |
| freon      | -      | -                      | -29      | 38                     |
| hélio      | -      | -                      | -269     | 6                      |

Tabela 15.1 - Ponto de fusão e de ebulição das substâncias e os respectivos valores de calor latente

Você pode identificar a temperatura de fusão e de ebulição de uma substância e interpretar o significado do calor latente medindo sua temperatura enquanto lhe fornece calor, até que ela mude de estado.

### Derretendo o gelo até ferver!

- Coloque alguns cubos de gelo em uma vasilha que possa depois ser levada à chama de um fogão e deixe-os derreter, medindo a temperatura antes e enquanto os cubos derretem. Não se esqueça de mexer de vez em quando, para manter o equilíbrio térmico.



- Você vai observar que desde o momento em que o gelo começa a derreter até que ele se transforme totalmente no estado líquido, o termômetro marca a mesma temperatura. Anote esse valor.

Mas se o sistema água e gelo continua trocando calor com o ambiente, por que a temperatura não variou?



- Depois da fusão de todo o gelo você vai perceber que o termômetro indica temperaturas mais elevadas. A água está esquentando.

- Coloque a água para aquecer sobre a chama de um fogão. A partir do momento em que a água entra em ebulição, o termômetro se mantém no mesmo nível enquanto houver água na vasilha. Anote essa temperatura.

Por que enquanto a água se transforma em vapor a temperatura não muda, embora ela receba calor?

Você pode ter encontrado um valor diferente de 100°C durante a ebulição da água, pois essa é a temperatura de ebulição quando a pressão é de 1 atmosfera, isto é, ao nível do mar.

Explicar por que a temperatura se mantém constante durante a mudança de estado, entretanto, é mais complexo. Temos de recorrer novamente ao **modelo cinético de matéria**.

Quando se aquece um material sólido, a sua rede cristalina se mantém com as moléculas vibrando mais, ou seja, com maior energia cinética. Se o aquecimento continua, a velocidade das moléculas faz com que elas se afastem a ponto de romper a rede cristalina, o que ocorre na temperatura de fusão do material.

Todo o calor recebido pela substância é utilizado para romper a rede cristalina, por isso ela não tem sua temperatura aumentada. Esse é o **calor latente de fusão**.

Para fundir um objeto de massa  $m$  que está à temperatura de fusão, temos de fornecer a ele uma quantidade de calor  $Q = mL_f$  onde  $L_f$  é o calor latente de fusão.

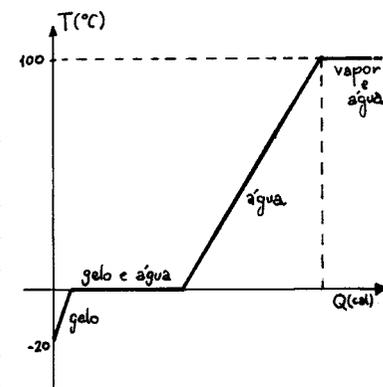
Na ebulição as moléculas do líquido, ao receberem calor, adquirem maior energia cinética e se separam quando atingem a temperatura de ebulição, transformando-se em gás. O **calor latente de vaporização ( $L_v$ )** é o calor utilizado para separar as moléculas.

Para vaporizar uma substância de massa  $m$  que se encontra na temperatura de vaporização é necessário fornecer-lhe uma quantidade de calor  $Q = mL_v$ .

Na mudança de estado em sentido contrário, o líquido cede calor ao ambiente (é resfriado) para reorganizar suas moléculas numa rede, tornando-se sólido. Este **processo** é chamado de **solidificação**.

O gás cede calor ao ambiente (é resfriado) para aproximar suas moléculas, liquefazendo-se. Neste caso, o **processo** é chamado de **condensação**.

É possível representar graficamente o aquecimento do gelo até sua vaporização

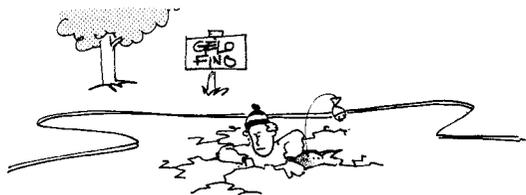


CALCULE A QUANTIDADE DE CALOR NECESSÁRIA PARA VAPORIZAR 200 G DE GELO QUE ESTÁ A -20°C. UTILIZE OS DADOS DAS TABELAS 12.1 E 15.1.

Durante qualquer mudança de estado a temperatura da substância se mantém constante

## Um lago gelado

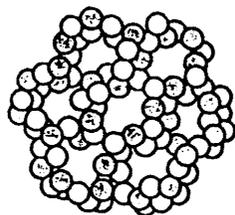
Nos países de inverno rigoroso a superfície de rios e lagos congela.



Abaixo do gelo, entretanto, a água permanece no estado líquido, o que garante a sobrevivência dos peixes. Esse fenômeno está relacionado com um comportamento anômalo da água entre 4°C e o seu ponto de fusão (0°C).

Normalmente as substâncias se dilatam na medida em que recebem calor. A água entretanto se dilata quando **perde calor entre 4°C e 0°C**, isto é, ela se torna menos densa. É por isso que o gelo flutua na água.

As águas da superfície de rios e lagos em contato com o ar frio, nos países de inverno rigoroso, congelam. As moléculas de água, ao formarem a rede cristalina na solidificação (0°C), ficam distantes umas das outras, ocupando um volume maior.



Como as camadas inferiores de água não entraram em contato com o ar frio, elas se mantêm à temperatura de 4°C, por isso são mais densas que o gelo; suas moléculas não sobem, ficam isoladas abaixo do gelo superficial, permanecendo no estado líquido.

É também devido ao fato de o gelo ser menos denso que a água que os *icebergs* flutuam. Além disso, temos de lembrar que essas enormes montanhas de gelo são provenientes dos continentes, arrastadas para o mar no verão (época do degelo), e são constituídas de água doce.

Os *icebergs* flutuam no mar de água salgada (mais densa que a água doce) com 90% do seu volume submerso.

## Vidro: líquido ou sólido?

O vidro é fabricado a partir de materiais fundidos de tal modo que não se cristalizam, permanecendo num estado amorfo. É um líquido de viscosidade tão grande que na prática se comporta como um sólido.

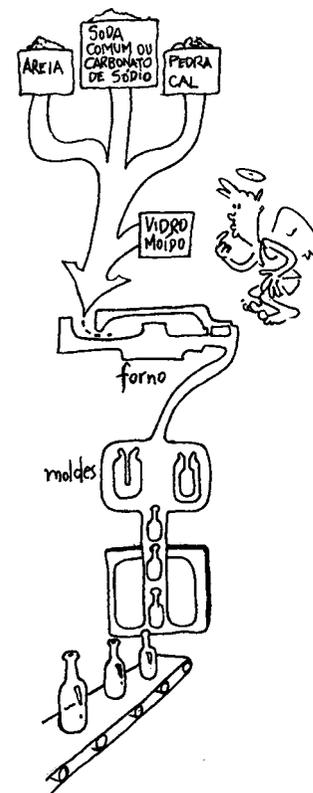
A sílica ou quartzo ( $\text{SiO}_2$ ) é uma das raras substâncias que se esfriam depois de fundidas sem formar a rede cristalina. A sílica pura, que se obtém da areia, entretanto é difícil de ser manipulada, porque sua viscosidade é muito elevada e também o seu ponto de fusão bastante alto (1.723°C).

Para baratear o vidro, junta-se soda à sílica, o que diminui o ponto de fusão, e cal (carbonato de cálcio), para tornar o produto insolúvel. Outras substâncias, como óxidos de magnésio, são misturadas para dar ao produto a cor branca. Vidros especiais como o Pirex, que suportam mudanças bruscas de temperatura, têm como ingrediente o ácido bórico, que dá ao produto uma baixa dilatação térmica.

Quanto à técnica de fabricação, o vidro pode ser moldado, laminado e soprado. Na técnica de modelagem a matéria-prima é fundida, colocada em moldes e sofre a injeção de ar comprimido, que depois é extraído: as peças moldadas são recozidas, isto é, aquecidas novamente em fornos especiais para ser resfriadas lentamente, para evitar que se quebrem facilmente. As garrafas e vidros são fabricados por esse processo.

No vidro laminado, a mistura fundida passa entre grandes rolos e é deixada para esfriar, podendo depois ser polida. São os vidros de janelas ou espelhos.

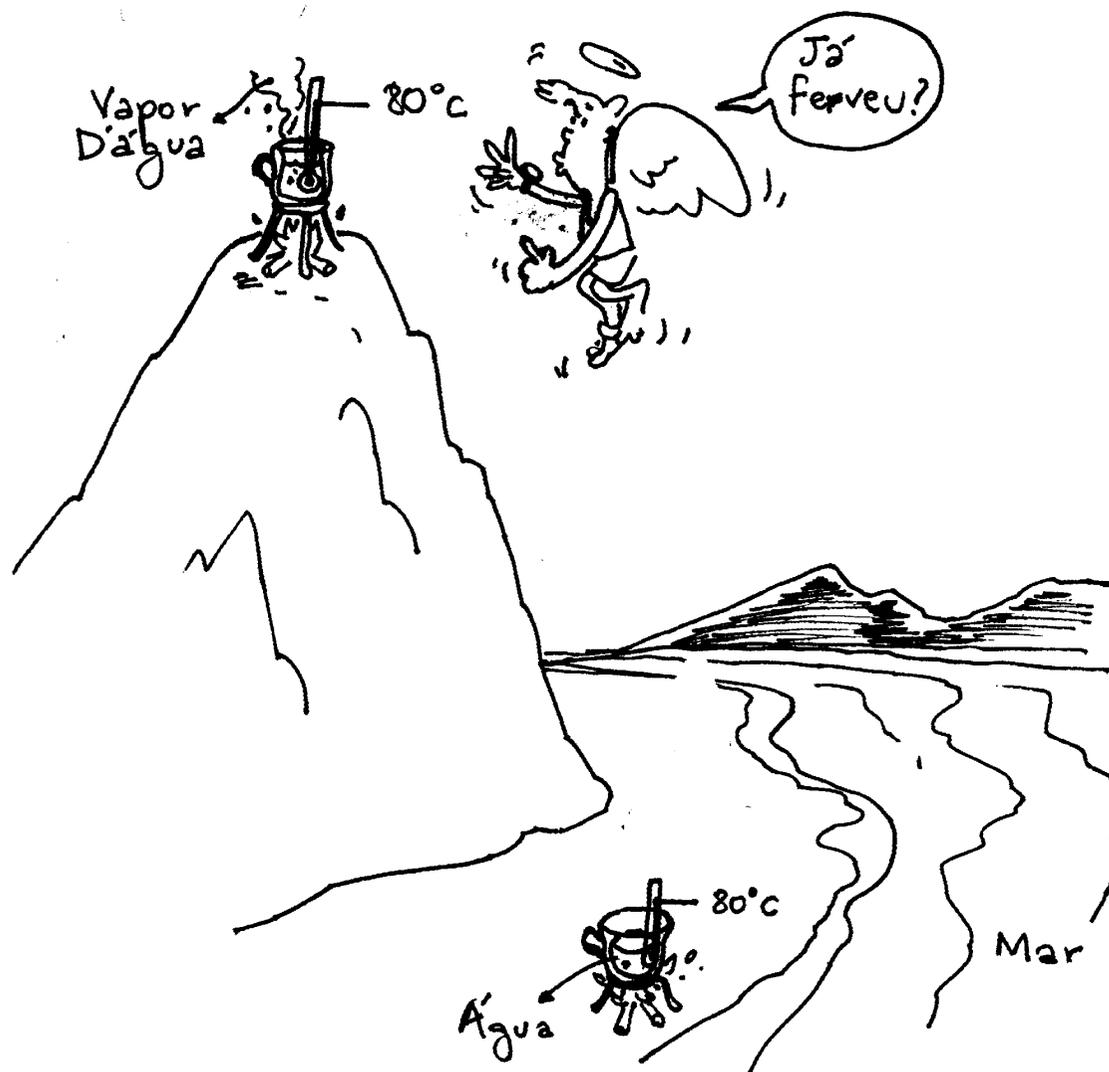
Já a técnica de soprar se constitui numa arte. O artesão sopra uma quantidade de vidro em fusão por um tubo. Forma-se uma bolha à qual ele vai dando forma usando ferramentas especiais. São objetos artísticos como licoreiras, cálices, bibelôs.



# —16—

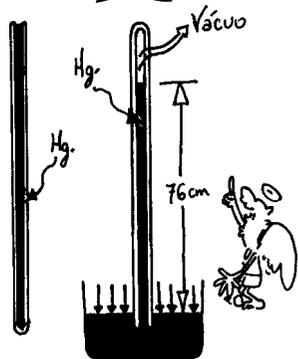
## Mudanças sob pressão

Aumentou a pressão?  
O vapor está saturado?  
A água só ferve a  
 $100^{\circ}\text{C}$ ?  
Vai mudar de estado?



Em que condição o feijão cozinha  
em menos tempo?

# 16 Mudanças sob pressão



**Tabela 16.1**

| Altitude (m) | Pressão (cm Hg) |
|--------------|-----------------|
| 0            | 76              |
| 500          | 72              |
| 1000         | 67              |
| 2000         | 60              |
| 3000         | 53              |
| 4000         | 47              |
| 5000         | 41              |
| 6000         | 36              |
| 7000         | 31              |
| 8000         | 27              |
| 9000         | 24              |
| 10000        | 21              |

Quando apresentamos a escala Celsius, atribuímos o valor 100°C à temperatura da água em ebulição.

**PORÉM, SERÁ QUE A ÁGUA SEMPRE FERVE À MESMA TEMPERATURA? HÁ ALGUM FATOR QUE ALTERE ISSO?**

A água só ferve a 100°C ao nível do mar, devido à pressão atmosférica que varia conforme a altitude.

A pressão atmosférica é devida ao ar, que exerce seu peso em toda a superfície da Terra. A pressão é resultante de uma força exercida por unidade de área.

$$P = \frac{F}{A}$$

**No Sistema Internacional (SI) a pressão é expressa em N/m<sup>2</sup>**

Ao nível do mar a pressão atmosférica assume seu valor máximo, pois a espessura da camada de ar é a maior possível (a pressão atmosférica é de 1 atmosfera). Nesse nível, a pressão do ar equilibra uma coluna de mercúrio de 76 cm contido num tubo; isso foi concluído pelo físico Torricelli.

**76 cm de mercúrio equivalem à pressão de 1 atmosfera. Quanto maior for a altitude, menor será a pressão.**

$$1 \text{ atmosfera} = 10^5 \text{ N/m}^2$$

**MAS SERÁ QUE A ALTERAÇÃO DE PRESSÃO INTERFERE NA EBULIÇÃO OU NA CONDENSAÇÃO DE UMA SUBSTÂNCIA?**

Se alterarmos a pressão, a ebulição da água não ocorrerá à temperatura de 100°C. É o que acontece numa panela de pressão que cozinha os alimentos a pressões mais altas que 1 atmosfera; isso faz com que a água só entre em ebulição a temperaturas de cerca de 120°C.

Numa panela comum os alimentos cozidos em água atingem no máximo a temperatura de 100°C. Quando queremos preparar um doce ou aquecer uma comida que não deve atingir altas temperaturas, o fazemos em banho-maria.

Sendo cozido a temperaturas mais altas, numa panela de pressão, por exemplo, o alimento fica pronto em menos tempo.



**E SE DIMINUÍRMOS A PRESSÃO, A ÁGUA VAI ENTRAR EM EBULIÇÃO A TEMPERATURAS MENORES QUE 100°C?**

Para conseguirmos pressões menores que 1 atmosfera, basta estarmos em regiões de grandes altitudes. Numa montanha de 6.000 metros de altura, por exemplo, a pressão atmosférica é de 1/2 atmosfera, e a água entraria em ebulição a 80°C.

A tabela 16.2 nos dá alguns valores da temperatura de ebulição da água a diferentes pressões.

**Tabela 16.2**

**Temperatura de ebulição da água a diferentes pressões**

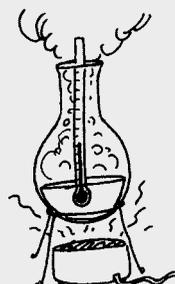
| P (atm)                 | P (mmHg)           | T (°C) |
|-------------------------|--------------------|--------|
| $6,05 \times 10^{-3}$   | 4,6                | 0      |
| $22,37 \times 10^{-3}$  | $1,7 \times 10^1$  | 20     |
| $72,37 \times 10^{-3}$  | $5,5 \times 10^1$  | 40     |
| $197,37 \times 10^{-3}$ | $1,5 \times 10^2$  | 60     |
| 0,474                   | $3,6 \times 10^2$  | 80     |
| 1                       | $7,6 \times 10^2$  | 100    |
| 2                       | $15,2 \times 10^2$ | 120    |
| 5                       | $38,0 \times 10^2$ | 152    |
| 10                      | $76 \times 10^2$   | 180    |
| 20                      | $15,2 \times 10^3$ | 213    |
| 40                      | $30,4 \times 10^3$ | 251    |
| 60                      | $45,6 \times 10^3$ | 276    |

O MONTE ACONCÁGUA, NOS ANDES, ESTÁ A APROXIMADAMENTE 7.000 M DE ALTITUDE, O EVEREST, NO HIMALAIA, A 8.000 M, E O PICO DA NEBLINA, O MAIS ALTO DO BRASIL, A 3.000 M. CONSULTE AS TABELAS E DESCUBRA O VALOR DA PRESSÃO ATMOSFÉRICA NO TOPO DE CADA PICO. FAÇA UMA ESTIMATIVA DA TEMPERATURA DE EBULIÇÃO DA ÁGUA NESSES PICOS. RELACIONE-OS EM ORDEM DECRESCENTE DE TEMPERATURA DE EBULIÇÃO.

## Fervendo sob pressão

**O que acontece com a temperatura de ebulição da água se a pressão exercida for diferente da pressão atmosférica normal?**

Para examinar os efeitos da pressão sobre a ebulição da água, utilize uma fonte de calor, um balão de vidro Pirex contendo 1/4 de seu volume de água e uma rolha com termômetro (até 110°C). Para começar, você pode conhecer a temperatura de ebulição da água sob pressão normal. Para isso, aqueça o sistema, que deve estar aberto e com o termômetro. Qual é a temperatura?



Agora, o que você acha que aconteceria com a água se você fechasse a tampa do balão e mantivesse o aquecimento? Cuidado, isso é muito perigoso, portanto NÃO FAÇA. Você acha que a ebulição continuaria? O que aconteceria com a temperatura?



Com certeza, a pressão sobre a água teria aumentado muito, impedindo a ebulição. Seria necessário aquecer mais para provocar nova ebulição nessas condições, o que ocorreria em temperaturas maiores que a encontrada anteriormente.

Se você deixasse sair o vapor e fechasse novamente o balão, poderia provocar agora um efeito contrário.

Mantendo o balão suspenso, esfregue pedras de gelo na sua parte superior, diminuindo a temperatura e portanto a pressão do gás sobre o líquido. Isso você pode fazer, não há perigo.



Ela volta a ferver? A que temperatura? Repetindo outras vezes esse resfriamento, qual a menor temperatura de ebulição obtida?

Nesse experimento, qual situação é semelhante à que ocorre numa panela de pressão? E qual é semelhante à que ocorre em grandes altitudes?

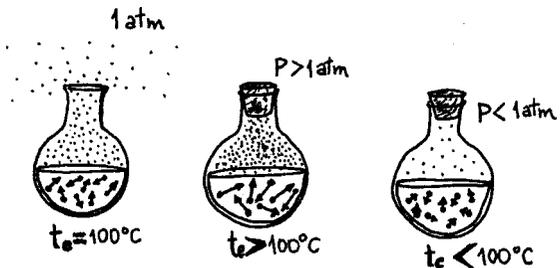
# Por que sob pressões diferentes a água ferve a temperaturas diferentes?

Para respondermos a essa pergunta devemos levar em conta o que ocorre com as moléculas de água e com as de ar.

Na ebulição, as moléculas de água possuem energia cinética suficiente para escapar pela superfície do líquido e passar para o estado gasoso, na forma de vapor de água.

Por outro lado, a pressão atmosférica exercida na superfície do líquido é devida ao grande número de moléculas de ar que se chocam com ela.

A temperatura de ebulição de 100°C corresponde a uma energia cinética das moléculas de água suficiente para elas escaparem pela superfície, apesar da pressão de 1 atmosfera exercida pelo ar.



Quando se aumenta a pressão do ar sobre a água, as moléculas de água necessitam de maior energia cinética para vencer a pressão externa. Nesse caso, a temperatura de ebulição será maior que 100°C.

Quando se diminui a pressão sobre o líquido, fica facilitado o escape das moléculas de água do estado líquido para o gasoso; mesmo moléculas dotadas de menor energia cinética conseguem escapar da superfície, o que caracteriza uma temperatura de ebulição menor que 100°C.

## Exercícios:

1) Determine as pressões no interior de uma panela comum e no de uma panela de pressão com água fervente. A massa da tampa da panela comum e da válvula da panela de pressão é de 100 g. O diâmetro interno do pino da panela de pressão é de 0,2 cm e o da panela comum é de 20 cm.

### Resolução:

Como  $P_{\text{interna}} = P_{\text{atmosférica}} + P_{\text{vapor}}$

Na panela comum:

$$R = 10 \times 10^{-2} = 10^{-1}$$

$$P_{\text{vapor}} = \frac{F}{A} = \frac{m_{\text{tampa}} \times g}{\pi \times r_{\text{tampa}}^2} = \frac{1 \times 10^{-1} \times 10}{\pi \times (1 \times 10^{-1})^2}$$

$$P_{\text{vapor}} = \frac{1}{3,14 \times 1 \times 10^{-2}} \approx 33 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

Assim:

$$P_{\text{interna}} = (1 \times 10^5 + 33) \approx 1 \times 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

Na panela de pressão:

$$R = 0,1 \text{ cm} = 10^{-3} \text{ m}$$

$$P_{\text{vapor}} = \frac{F}{A} = \frac{m_{\text{válvula}} \times g}{\pi \times r_{\text{pino}}^2} = \frac{1 \times 10^{-1} \times 10}{3,1 \times (1 \times 10^{-3})^2}$$

$$P_{\text{vapor}} = \frac{1}{3 \times 10^{-6}} = 3,3 \times 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

Assim:

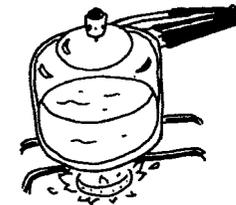
$$P_{\text{interna}} = 1 \times 10^5 + 3,3 \times 10^5 = 4,3 \times 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$P_{\text{int}} = P_{\text{atm}} + P_{\text{vapor}}$$

$P_{\text{int}}$  = pressão no interior da panela.

$P_{\text{atm}}$  = pressão atmosférica.

$P_{\text{vapor}}$  = pressão do vapor de água.



**Note que na panela de pressão a pressão interna é em torno de quatro vezes maior do que a de uma panela comum**

# —17—

## O mais frio dos frios

Pode-se aquecer ou  
resfriar uma substância  
indefinidamente?  
Como se medem  
temperaturas muito  
baixas?



Experiências sofisticadas de laboratório, em que se resfriam gases como o hidrogênio, nitrogênio ou hélio, apontam para o menor valor de temperatura possível e que não pode ser atingido na prática.

Essa temperatura é chamada de zero absoluto e define uma nova escala de temperatura.

Para estudar os gases precisamos utilizar essa nova escala de temperatura, a Escala Kelvin.

Para medir e controlar temperaturas utilizamos em nossos estudos as propriedades das substâncias de emitir luz e se dilatar quando aquecidas, "construindo" pirômetros ópticos, termostatos e termômetros de mercúrio ou de álcool. Esses termômetros entretanto não são capazes de avaliar temperaturas muito baixas, pois essas substâncias termométricas também congelam a uma certa temperatura.

Medidas de temperatura muito baixas podem ser realizadas com algumas substâncias no estado gasoso. Nesse estado, para que o gás fique bem caracterizado, é preciso conhecer a que pressão ele está submetido, o seu volume e sua temperatura.

Na escala Celsius as medidas de temperatura são relativas, pois têm os pontos de fusão do gelo e de ebulição da água como referências. O zero grau Celsius, por exemplo, não significa um valor zero absoluto, e sim que a substância se encontra à temperatura de fusão do gelo. Tanto a escala Celsius como a Fahrenheit só são úteis quando queremos trabalhar com variações de temperatura.

No caso dos gases, os manômetros medem pressões com uma escala que se inicia no ponto zero, com um significado físico de pressão zero, e o volume ( $m^3$ ) também é tomado a partir de um volume zero.

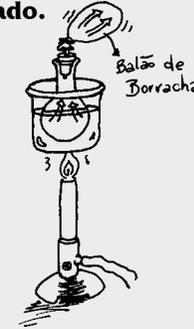
Assim, como não tem significado físico uma pressão ou volume negativos, a temperatura absoluta de um gás também não pode ser menor do que zero. Foi preciso, então, encontrar uma escala à qual se atribuisse a temperatura mais baixa possível, o ponto zero.

Os gases, por se dilatarem mais do que os líquidos e sólidos, se mostraram uma boa substância termométrica para ser usada num "medidor" de temperatura absoluta. Além disso, a uma alta temperatura e baixa pressão todos os gases se comportam da mesma maneira, e o seu coeficiente de dilatação nessas condições é sempre o mesmo. Chamamos esse tipo de substância de **gás ideal**.

Você pode verificar a expansão e a contração do ar com a próxima atividade, buscando entender a construção de um termômetro a gás.

### Enchendo o balão

**Um recipiente de vidro com uma rolha furada e uma bexiga de borracha presa a ela podem servir para você observar o comportamento do ar quando aquecido ou resfriado.**



**Coloque esse conjunto dentro de uma vasilha de água quente e observe o que ocorre com o volume da bexiga. Ela mostra o que acontece com o ar do recipiente de vidro.**

**Coloque em seguida o conjunto dentro de uma vasilha de água gelada. O que ocorre agora com o volume da bexiga?**

**O que você pode dizer sobre o número de moléculas de ar dentro do conjunto durante o aquecimento e o resfriamento?**

**E quanto ao comportamento da pressão?**

Experiências simples como essa, feitas com ar, mostram que os gases dilatam bastante quando aquecidos e contraem quando resfriados.

MAS QUANTO DILATA UM GÁS? COMO ESSA PROPRIEDADE PODE SER USADA PARA SE CONSTRUIR UM MEDIDOR DE TEMPERATURA ABSOLUTA?

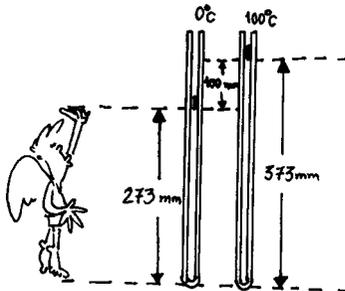
ENQUANTO AS PESQUISAS APONTAM PARA UM LIMITE INFERIOR DE TEMPERATURA, O "FRIO ABSOLUTO", NADA LEVA A CRER QUE HAJA UM LIMITE PARA ALTAS TEMPERATURAS. EM PRINCÍPIO PODE-SE AQUECER UMA SUBSTÂNCIA INDEFINIDAMENTE.

## Um termômetro a gás a pressão constante

Se colocássemos gás num tubo longo de vidro de  $1\text{ mm}^2$  de secção (área) confinado por uma gota de mercúrio, perceberíamos a gota de mercúrio subir ou descer, quando o tubo fosse aquecido ou resfriado. A variação do volume do gás em função da temperatura obedece uma regra muito simples.

Mergulhando o tubo numa vasilha de água em ebulição, ou seja, à temperatura de  $100^\circ\text{C}$ , o comprimento da coluna de gás seria de  $373\text{ mm}$ . Se a água fosse resfriada a  $50^\circ\text{C}$ , a altura de coluna passaria a  $323\text{ mm}$ . Veja que houve uma diminuição no comprimento da coluna de  $50\text{ mm}$ .

Colocando o tubo em água com gelo a  $0^\circ\text{C}$ , o comprimento da coluna de gás seria de  $273\text{ mm}$ . Neste caso, o comprimento da coluna teria diminuído mais  $50\text{ mm}$ .



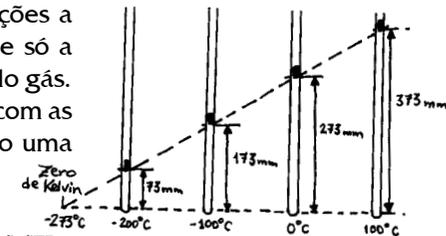
Nessas situações, a pressão do gás seria constante (pressão atmosférica) e o volume do gás seria proporcional à variação de sua temperatura. Com esse termômetro, poderíamos descobrir a temperatura do gás, medindo o seu volume. O volume é a propriedade termométrica desse termômetro.

Reduzindo mais a temperatura, sem que o gás se condensasse, o que se conseguiria em laboratórios especializados, o seu volume seria de  $73\text{ mm}^3$  a  $-200^\circ\text{C}$ .

Um gás considerado perfeito ou ideal tem sempre seu volume diminuído de  $1/273$  para cada redução de temperatura de  $1$  grau centígrado. Esse comportamento caracteriza os gases perfeitos.

O diagrama ao lado mostra que o volume do gás será zero quando a temperatura for  $-273^\circ\text{C}$ .

Um volume reduzido a zero significa que as moléculas se movimentariam o mínimo possível; nestas condições a energia das moléculas seria mínima, praticamente só a energia de configuração dos átomos e moléculas do gás. Da mesma maneira não há colisões das moléculas com as paredes do recipiente, o que é interpretado como uma pressão mínima possível.



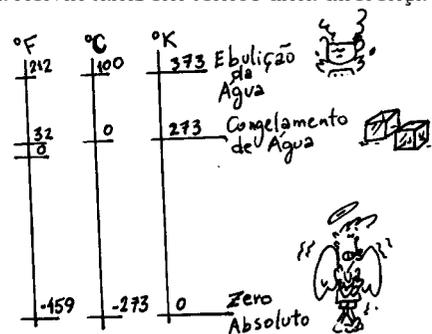
O FATO DE A ENERGIA CINÉTICA TOTAL DAS MOLÉCULAS SER PRATICAMENTE ZERO É INTERPRETADO COMO UMA TEMPERATURA ABSOLUTA ZERO.

Essa temperatura de  $-273^\circ\text{C}$  foi chamada de **zero absoluto** por William Tompson, que recebeu o título de Lord Kelvin em 1848.

Na prática, o ponto zero absoluto não pode ser atingido. A menor temperatura medida em laboratório foi de fração de grau acima do zero absoluto.

Foi chamada de **escala Kelvin** ou **escala absoluta** a escala termométrica que atribuiu ao zero absoluto o ponto zero; à temperatura de fusão da água, o ponto  $273\text{ K}$ ; e a temperatura de ebulição da água, o ponto de  $373\text{ K}$ .

Assim, tal como na escala Celsius, entre o ponto de fusão e o de ebulição da água temos uma diferença de  $100^\circ\text{C}$ ; na escala Kelvin também temos uma diferença de  $100\text{ K}$ .



É ESSA ESCALA DE TEMPERATURA ABSOLUTA QUE USAREMOS PARA ESTUDAR OS GASES.

### **Kryosgennáo**

Criogenia é o estudo da produção de baixas temperaturas, inferiores a 273,15K (0°C).

Em 1911 foi observado pela primeira vez que alguns metais, como o mercúrio, tornavam-se **supercondutores**, isto é, conduzem eletricidade sem oferecer resistência quando congelados perto do zero absoluto. Como essas baixas temperaturas só podem ser obtidas com generosa aplicação do hélio líquido, muito caro, as pesquisas continuaram buscando a supercondutividade a temperaturas mais elevadas.

A partir de 1985 foram descobertos novos materiais: o óxido de cobre a 35K, óxidos cerâmicos baseados em terras raras, como o ítrio, por exemplo, a 98K, tornavam-se supercondutores a temperaturas em que o nitrogênio, bem mais barato, já podia substituir o hélio.

Cerâmicas supercondutoras de cobre, ítrio e bário, que funcionam bem a -148°C, com estrôncio e cálcio chegam a funcionar a temperaturas de -103°C. Pesquisadores de todo o mundo se empenham na busca de materiais supercondutores de alta temperatura para fabricação de chips de computador, fibras ópticas etc.

### **O trem bala**

Eletoímãs supercondutores feitos com fios de liga de nióbio, a temperaturas de aproximadamente 20K, são colocados longitudinalmente na parte inferior do trem, enquanto os trilhos são dotados de chapas de alumínio na mesma direção dos eletroímãs.

Quando o trem se move, a direção das linhas do campo magnético dos eletroímãs perpendicular às superfícies das chapas, induz correntes elétricas que, por sua vez, interagem com as dos eletroímãs. Isso provoca uma repulsão que ergue o trem a uns 10 cm do chão, fazendo-o deslizar sobre um colchão magnético, o que permite velocidades da ordem de 500 km/h. O trem só se apóia sobre rodas quando está em baixas velocidades ou parado.

## **Criogenia: A indústria do "muito frio"**

### **Tecnologia: nitrogênio líquido.**

O nitrogênio líquido é fabricado a partir da liquefação do ar, o que se consegue atingindo-se a temperatura de 77K. É empregado na medicina, na veterinária e na tecnologia.

### **Medicina: bisturi criogênico.**

Nesse bisturi utiliza-se a circulação de nitrogênio líquido e controla-se a temperatura desejada a partir de um aquecedor. O uso desse instrumento permite que só a parte a ser removida do tecido seja submetida a baixas temperaturas, preservando-se os tecidos sadios. As cicatrizações das incisões feitas com esse bisturi são mais rápidas e com menores riscos de infecção.

### **Veterinária: banco de sêmen.**

Os bancos de sêmen conservam à temperatura de 77K o sêmen de animais reprodutores utilizados em inseminações artificiais e enviados para locais distantes, congelados em embalagens em que circula o nitrogênio líquido.

### **Ambiental: controle de poluição do ar.**

Controle de filtros que, dependendo do material e da temperatura em que se encontram (baixas temperaturas), absorvem gases poluentes.

### **Ambiental: simulação de ambientes espaciais.**

Retirando-se as moléculas do ar pelo processo de absorção a baixas temperaturas, conseguem-se pressões muito baixas, que simulam ambientes extraterrenos.

### **Tecnologia: tratamento de metais.**

O tratamento do aço com nitrogênio líquido num processo elaborado sem choques térmicos obtém-se um aço mais duro e resistente ao desgaste.

### **Tecnologia: aproveitamento de pneus descartados.**

Pneus velhos e plásticos, após o congelamento com nitrogênio líquido, são pulverizados e misturados com asfalto para pavimentação. Essa mistura nas proporções adequadas torna a superfície mais aderente do que o asfalto comum. Além disso utiliza material que por não ser biodegradável se constitui num problema para a reciclagem do lixo.

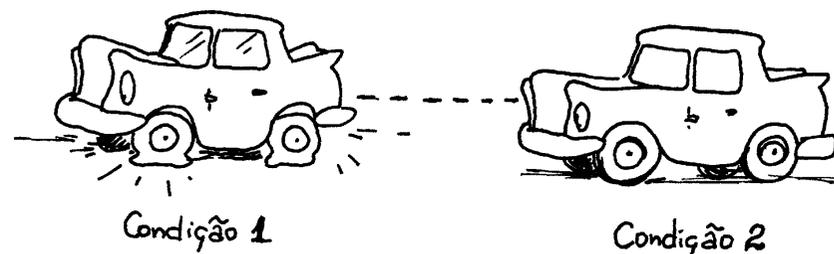
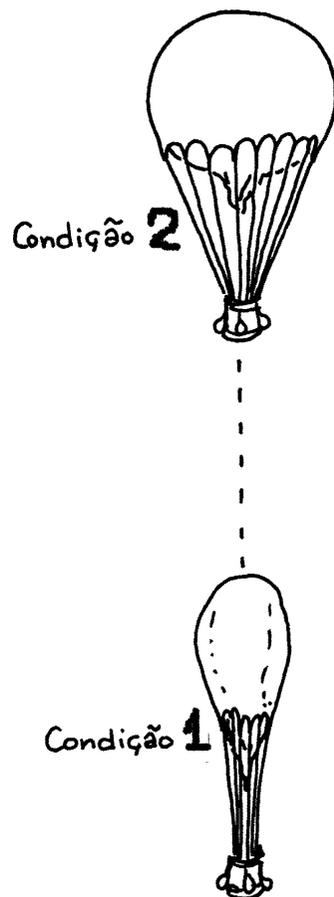
### **Tecnologia: quebra de castanhas-do-pará.**

As cascas das castanhas-do-pará, quando submetidas a baixas temperaturas, são quebradas facilmente, sem que o fruto sofra alterações.

# —18—

## Transformações gasosas

Em termômetros a gás, bombas de encher pneus e balões, aparelhos respiratórios para submersão etc., ocorrem transformações gasosas.

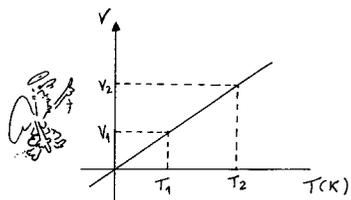


Sempre que um gás é resfriado ou aquecido, os valores de sua pressão e volume se alteram. Há uma regra para essas alterações?

A compressão ou a descompressão de um gás também provocam variações no seu volume e na sua temperatura?

Experiências realizadas com gases mantêm constante uma das grandezas: temperatura, pressão ou volume, avaliando como variam as outras duas e estabelecendo leis para as transformações gasosas.

Como vimos na leitura anterior, é possível descobrir a temperatura absoluta de um gás medindo-se o seu volume.



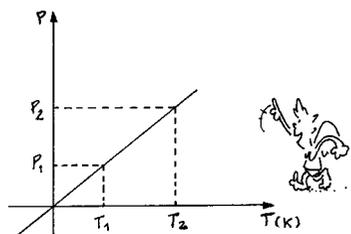
**Transformação isobárica**

Nesse tipo de transformação gasosa que ocorre a pressão constante (isobárica), o volume do gás é diretamente proporcional à sua temperatura absoluta, o que pode ser representado pela relação:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} = \text{constante}$$

**Lei de Charles-Gay Lussac**, onde os índices 1 e 2 caracterizam a primeira e a segunda condição do gás.

No entanto, podemos aquecer ou resfriar um gás mantendo constante o seu volume e observando como sua pressão varia. (Veja no quadro ao lado o funcionamento de um termômetro a gás a volume constante.)



**Transformação isovolumétrica**

A pressão indicada no manômetro aumenta proporcionalmente com a temperatura absoluta do gás, o que pode ser representado pela equação:

**Lei de Charles-Gay Lussac**

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} = \text{constante}$$

Um gás pode ter sua temperatura mantida constante e sofrer uma transformação onde a pressão e o volume variam. Esse estudo foi realizado por Boyle. (Veja no quadro ao lado a sua experiência.)

Se a pressão do gás aumentar, o seu volume diminui de tal modo que vale a relação:

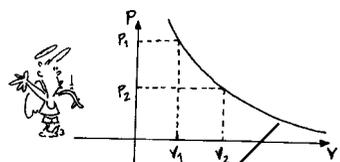
**Lei de Boyle**

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 = \text{constante}$$

Um gás também pode passar de uma condição (estado) para outra variando ao mesmo tempo a pressão, o volume e a temperatura. Essa transformação obedece ao mesmo tempo às três equações apresentadas, isto é:

**Equação Geral dos Gases**

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} = \text{cte}$$

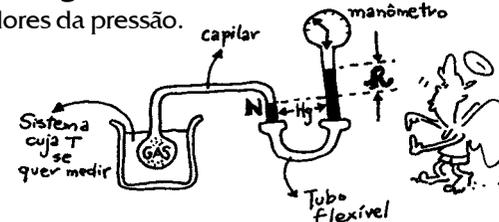


**Transformação isotérmica**

ESSA CURVA É CHAMADA ISOTERMA.

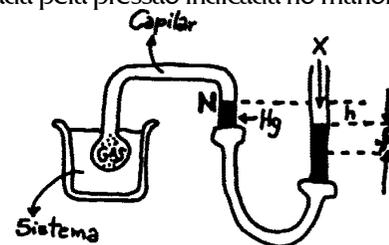
### Termômetro a gás a volume constante

Para estudar a variação da pressão de um gás mantido a volume constante utiliza-se um dispositivo contendo uma certa quantidade de gás, isolado do ambiente por um tubo flexível em forma de U com mercúrio, um **termômetro a gás a volume constante**. Um manômetro indica valores da pressão.



Quando o gás é aquecido, o seu volume pode ser mantido constante elevando-se a extremidade do tubo de modo que o ponto N permaneça fixo. A altura h do tubo que contém mercúrio equilibra a pressão do gás contido no reservatório.

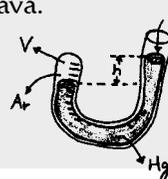
Quando o gás é resfriado, ao contrário, a extremidade do outro tubo deve ser abaixada. A temperatura do gás é calculada pela pressão indicada no manômetro.



### A experiência de Boyle.

No estudo dos gases realizado por Boyle foi utilizado um tubo em U fechado em uma extremidade e aberto na outra e contendo gás e mercúrio. Mantendo a temperatura constante, Boyle provocou alterações na pressão e observou como o volume do gás variava.

A pressão pode ser variada alterando-se a altura de mercúrio do ramo direito, mantendo-se constante a temperatura.



Uma importante propriedade dos gases foi apresentada por Avogadro: "um mol de qualquer gás nas condições normais de temperatura e pressão, ocupa sempre o mesmo volume de 22,415 litros e possui  $6,02 \cdot 10^{23}$  moléculas ( $N_0$ )".

O mol de uma substância é sua massa molecular expressa em gramas. Por exemplo:

um mol de gás de oxigênio ( $O_2$ ) = 32 g

um mol de gás hidrogênio ( $H_2$ ) = 2 g

um mol de água ( $H_2O$ ) = 18 g

Se aplicarmos a equação geral dos gases a **um mol** de gás, o resultado será sempre o mesmo para qualquer gás:

$$\frac{PV}{T} = \frac{1 \text{ atm} \times 22,4 \text{ l}}{273 \text{ K}} = \frac{(1,013 \times 10^5) \text{ N/m}^2 \times 0,0224 \text{ m}^3}{273 \text{ K}}$$

O resultado é a **constante universal dos gases**:

$$R = 8,31 \frac{(\text{N/m}^2) \times \text{m}^3}{\text{mol} \times \text{K}} = 1,986 \frac{\text{cal}}{\text{mol} \times \text{K}}$$

$$R = 0,082 \frac{\text{atm} \times \text{l}}{\text{mol} \times \text{K}}$$

Para um mol de um gás:  $\frac{PV}{T} = R$

Para n moles de um gás:  $\frac{PV}{T} = n \times R$  ou

$$PV = nRT$$

**Equação dos gases perfeitos ou equação de Clapeyron**

## Teoria cinética dos gases

A pressão de um gás sobre as paredes do recipiente está relacionada com a energia cinética média das moléculas e a temperatura absoluta através das seguintes relações:

$$P = \frac{1}{3} \frac{N \times m \times v_m^2}{V} = \frac{2}{3} \frac{N}{V} E_{c_m}$$

$$E_{c_m} = \frac{3}{2} k \times T \quad \text{onde: } N = n \times N_0 \quad \text{e} \quad k = \frac{R}{N_0}$$

$$k = 1,38 \times 10^{-23} \frac{\text{J}}{\text{molécula} \times \text{K}} \quad \text{Constante de Boltzman}$$

Com essas equações relacionamos pressão e temperatura, que são grandezas macroscópicas, com a energia cinética, que é uma grandeza microscópica. Portanto, é possível estabelecer uma equivalência entre uma grandeza macroscópica e uma grandeza microscópica.

| MACROSCÓPICA | MICROSCÓPICA                        |
|--------------|-------------------------------------|
| massa        | número de moléculas                 |
| temperatura  | energia cinética                    |
| pressão      | choque das moléculas com as paredes |
| volume       | distância média entre as moléculas  |

**n** = número de moles  
**N** = número de moléculas  
**V** = volume  
**m** = massa de cada molécula  
**v** = velocidade das moléculas  
 **$N_0$**  =  $6,02 \times 10^{23}$  moléculas por mol

### Exemplo:

1) Qual é a energia cinética média por molécula à temperatura ambiente?

**Resolução:**

Se:  $t = 22^\circ\text{C} = 273 + 22 = 295 \text{ K}$

$$E_{c_m} = \frac{3}{2} k T$$

$$E_{c_m} = \frac{3}{2} \times 295 \times 1,38 \times 10^{-23} \text{ J}$$

$$E_{c_m} = \frac{3}{2} \times 4,07 \times 10^{-21} \text{ J}$$

$$E_{c_m} = 6,105 \times 10^{-21} \text{ J}$$

## Exercícios

1) Um químico recolhe um gás a 18°C, cujo volume é de 500 cm<sup>3</sup>. Para dimensionar a capacidade do recipiente ele precisa conhecer qual será o volume do gás a 0°C se a pressão for mantida constante. Determine o volume do gás.

### Resolução:

Como a pressão é constante, a transformação é isobárica. Assim, para a temperatura de 18 °C podemos escrever:

$$T_1 = 18 \text{ °C} = 18 + 273 = 291 \text{ K}$$

$$V_1 = 500 \text{ cm}^3$$

Para a temperatura 0°C, temos:

$$T_2 = 0 \text{ °C} = 0 + 273 = 273 \text{ K}$$

$$V_2 = ?$$

$$\text{Como: } \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \Rightarrow \frac{500}{291} = \frac{V_2}{273}$$

$$\text{Portanto: } V_2 = \frac{500 \times 273}{291} = 469 \text{ cm}^3$$

2) Um balão meteorológico contém 75.000 m<sup>3</sup> de gás hélio quando está na superfície da Terra à pressão de 1 atmosfera. Ao alcançar uma altitude de 20 km, o seu volume atinge 1.500.000 m<sup>3</sup>. Admitindo que a temperatura do gás se mantém constante, qual a pressão do gás hélio nessa altura?

### Resolução:

$$V_1 = 75.000 \text{ m}^3$$

$$P_1 = 1 \text{ atmosfera} = 10^5 \text{ N/m}^2$$

$$V_2 = 1.500.000 \text{ m}^3$$

$$P_2 = ?$$

Como a temperatura se mantém constante:  $P_1 V_1 = P_2 V_2$

$$10^5 \times 75.000 = 1.500.000 \times P_2$$

$$P_2 = \frac{75.000 \times 10^5}{1.500.000} = 5 \times 10^3 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

vinte vezes menor que a pressão inicial.

3) Um *freezer*, regulado para manter a temperatura em seu interior a -19°C, foi fechado e ligado quando a temperatura ambiente estava a 27°C.

a) Determine a pressão em seu interior após um certo tempo de funcionamento.

b) Compare esse valor com o da pressão interna do *freezer* num ambiente cuja temperatura seja 40°C.

Obs.:

- Você pode considerar que o ar no interior do freezer se comporta como um gás ideal.

- Como o volume do ar não se altera,  $V_1 = V_2$ .

-  $P_1$  é a pressão do local, 1 atmosfera.

- Você deve usar a temperatura absoluta.

4) Considerando que um motor a diesel esteja funcionando a uma taxa de compressão de 14:1 e que a temperatura do ar em seu interior atinja o valor de aproximadamente 700°C, calcule o máximo valor da pressão do cilindro antes da injeção do diesel, sabendo que a temperatura ambiente é de 27°C e a pressão é de 1 atmosfera.

Obs.:

- A pressão inicial do ar na câmara é a do local, 1 atmosfera.

- O volume inicial do ar é  $V_1$  e o final é  $V_1/14$ .

- Use temperaturas Kelvin.

### Considerações sobre o exercício 4

Nos motores a diesel, o combustível é injetado no interior de uma câmara de combustão que contém ar comprimido a alta temperatura e sofre combustão espontânea, dispensando, assim, a vela de ignição.

O ar contido na câmara é retirado do ambiente e altamente comprimido, até que seu volume fique reduzido cerca de 14 a 25 vezes em relação ao volume inicial.